LUIZ CARLOS SOARES
organizador

DA REVOLUÇÃO CIENTÍFICA À BIG (BUSINESS) SCIENCE

Cinco Ensaios de História da Ciência e da Tecnologia

EDITORA HUCITEC
EDITORA DA UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
São Paulo-Niterói, 2001

ESBOÇOS DE HISTÓRIA ECONÔMICA DA CIÊNCIA E DA TECNOLOGIA*

Tamás Szmrecsányi

Este trabalho tem por objetivo destacar alguns aspectos significativos da evolução da ciência e da tecnologia em relação ao desenvolvimento econômico dos países industrializados da Europa e da América do Norte, do final do século XVIII ao início do século XX. Entre os principais fatores que influenciaram essa história, são apontados mais particularmente os vínculos entre os diferentes domínios do conhecimento científico e técnico, bem como entre estes últimos e as atividades econômicas e sociais.

Nossa abordagem "externalista" difere da perspectiva "internalista" que encara a produção e a utilização dos conhecimentos exclusivamente como atividades intelectuais autônomas e autocontidas.[1] Na verdade, esta abordagem não é nova nem original. Podemos, por exemplo, encontrá-la num texto já antigo de Bertrand Gille,[2] dedicado às relações entre progresso científico, progresso técnico e progresso econômico.

* Tradução, feita por Marília Sales de Siqueira e revista pelo Autor, de três artigos publicados na revista *Sciences de la Société* (Toulouse, França), n.º 37, fevereiro-1996, p. 197-211; n.º 38, maio-1996, p. 165-81; e n.º 39, outubro-1996, p. 177-93.

[1] Veja-se a respeito dessa nomenclatura os textos de J. R. R. Christie, "The Development of the Historiography of Science", e de R. Porter, "The History of Science and the History of Society", in: R. C. Olby et al (eds.). *Companion to the History of Modern Science*. Londres: Routledge, 1990, p. 5-22 e 32-46

[2] B. Gille. "Progrès scientifique, progrès technique et progrès économique — rapport général". *Fourth International Congress of Economic History, Bloomington 1968*. Paris: Mouton, 1973, p. 209-22.

Estas relações, que hoje parecem evidentes e mesmo elementares, nem sempre existiram no passado, quando numerosas técnicas eram concebidas e adotadas sem a ocorrência de um progresso prévio ou simultâneo dos conhecimentos científicos. Como verificaremos mais adiante, essa situação de relativa independência entre progresso técnico e progresso científico parece ter predominado até a Primeira Revolução Industrial — ou seja, até o final do século XVIII ou início do século XIX, de acordo com os países, os domínios do conhecimento, ou os ramos de atividades.

Para analisar as relações entre o progresso do conhecimento e o progresso econômico, é indispensável definir com precisão o progresso técnico, e estabelecer uma distinção entre as descobertas e invenções de um lado, e as inovações tecnológicas propriamente ditas do outro. Mas, devemos também lembrar, com Schumpeter,[3] que são somente estas últimas que se inserem de fato no desenvolvimento econômico, através dos mecanismos de indução e de difusão do progresso técnico.

I — Origens e conseqüências da Primeira Revolução Industrial

A partir de um certo estágio de desenvolvimento econômico, o progresso técnico (entendido como progresso do *know-how*) acelera o progresso científico (entendido como progresso do conhecimento), ao mesmo tempo em que se encadeiam interações recíprocas. Este movimento torna-se perceptível a partir do século XIX, quando as atividades de pesquisa começam a se sistematizar e institucionalizar. Essa interação da ciência e da tecnologia faz emergir processos de produção e produtos inteiramente novos, ou diferentes dos antigos, sem terem no entanto aparecido de forma inesperada, pois haviam sido antes objetos de pesquisas mais ou menos intensivas.

Essas inovações foram as responsáveis pela materialização da Segunda Revolução Industrial, encetada na Europa e nos Estados Unidos durante a última metade do século XIX, e foi por meio dela que surgiram, pela primeira vez, as "técnicas de base científica".[4] Trata-se de uma situação

[3] J. A. Schumpeter. "How the Economic System Generates Evolution" (Capítulo 3), em *Business Cycles: a Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Processs*. Nova York: McGraw-Hill, 1939, p. 72-129.

[4] Ao contrário dos "inventores" da Primeira Revolução Industrial, que, via de regra, não tinham qualquer formação científica, os da Segunda — como Bessemer, Siemens, Martin etc. — eram engenheiros formados, que se valeram dos conhecimentos adqüiridos através do aprendizado universitário.

inteiramente diferente não apenas da Primeira, mas também da Terceira Revolução Industrial, por nós vivida hoje. Com efeito, pode-se notar nesta última, uma grande interdependência entre ciência e tecnologia, através da qual o progresso técnico vem condicionando o progresso científico.[5]

O aspecto mais importante dessas relações não se situa na eventual anterioridade de um progresso em relação a outro, mas nos laços de interdependência recíproca, no contexto do desenvolvimento econômico e social, a partir da Primeira Revolução Industrial, e, mais especificamente, da crescente profissionalização das ciências e da tecnologia durante este período, processo analisado mais adiante no item II. Neste momento, limitar-nos-emos a assinalar que a Primeira Revolução Industrial não foi uma revolução científica nem uma revolução tecnológica baseada nas ciências, mas que isso não a impediu de desempenhar um papel decisivo no progresso das ciências e das técnicas.[6]

Na verdade, a primeira parte desta proposição é menos discutível que a segunda: os autores que vinculam a Primeira Revolução Industrial à Revolução Científica do século XVII continuam sendo pouco numerosos[7] e seus argumentos são frontalmente contestados pela maioria dos historiadores.[8] Para estes últimos, mesmo a máquina a vapor — um dos símbolos mais marcantes da Primeira Revolução Industrial — foi uma invenção essencialmente empírica, cujos princípios científicos, materializados na

[5] Os progressos da física moderna têm dependido, cada vez mais, dos instrumentos de pesquisa colocados à sua disposição, bastando mencionar como exemplo os aceleradores de partículas.

[6] Veja-se a este respeito as considerações de I. B. Cohen. *Revolution in Science*. Cambridge-MA: Harvard University Press, 1985, p. 262-9.

[7] Merecem ser destacados neste particular os trabalhos de A. E. Musson & E. Robinson. "Science and industry in the late eighteenth century", *Economic History Review*, XIII (2), 1960, p. 222-44; e *Science and Technology in the Industrial Revolution*. Manchester: Manchester University Press, 1969; e, mais recentemente, o de P. O'Brien. "The mainsprings of technological progress in Western Europe, 1750-1850", in: P. Mathias & J. A. Davis (orgs.). *Innovation and Technology in Europe from the Eighteenth Century to the Present Day*. Oxford: Basil Blackwell, 1991, p. 6-17.

[8] Como, por exemplo, P. Bairoch. *Révolution Industrielle et sous-développment*. 3.ª ed. Paris: SEDES, 1969; e D. S. Landes. *The Unbound Prometheus: Technological Change and Industrial Development in Western Europe from 1750 to the Present*. Cambridge-UK: Cambridge University Press, 1969.

termodinâmica, só seriam enunciados e sistematizados meio século mais tarde. Por outro lado, a afirmação segundo a qual essa reviravolta tampouco chegou, a ser uma revolução tecnológica poderá surpreender alguns, porque o progresso técnico constitui, sem dúvida, uma das principais características, não somente da Primeira Revolução Industrial como também de todas as demais.

A questão central que se coloca em relação a cada uma delas é a de saber até que ponto suas inovações constituíram mudanças realmente revolucionárias, e não simples ganhos cumulativos num processo de melhora progressiva a longo prazo, ou a simples aplicação prática de descobertas realizadas há longo tempo e/ou já conhecidas por um grande número de especialistas. Parece que esta última explicação seja pertinente aos casos da Primeira Revolução Industrial, já que suas transformações mais significativas ocorreram, não no âmbito tecnológico, mas nos domínios econômico e social, conforme foi atestado, entre outros, por Paul Mantoux e David Landes.[9]

Da mesma maneira que a Revolução Francesa, que lhe foi mais ou menos contemporânea, a Primeira Revolução Industrial representou, em primeiro lugar, uma vitória do capitalismo e da burguesia sobre os sistemas econômicos e sociais preexistentes, bem como sobre as forças políticas vinculadas ao Antigo Regime. Ela provocou reviravoltas dentro e fora da Grã-Bretanha, e os seus efeitos se fizeram sentir no mundo inteiro, especialmente através de mudanças que não foram apenas tecnológicas e institucionais, mas que terminaram por atingir a natureza e a estrutura de todos os sistemas econômicos e sociais então vigentes. Através dessas mudanças, verificou-se, pela primeira vez na história, a transição de uma economia agrária e artesanal, diretamente fundada no trabalho humano, para uma economia industrial e mecanizada, com todas as conseqüências sociais, políticas e culturais que isto implica. Essas transformações complexas foram magistralmente analisadas pelo historiador britânico Eric Hobsbawm.[10]

[9] Ver: P. Mantoux. *La Révolution Industrielle au XVIIIe siècle. Essai sur les commencements de la grande industrie moderne en Angleterre*. Paris, 1905 (traduzido para o português pela Editora Hucitec); e Landes. Op. cit.

[10] Ver E. Hobsbawm. *The Age of Revolution, 1789-1848*. Nova York: New American Library, 1962; *The Age of Capital, 1848-1875*. Nova York: Charles Scribner's Sons, 1975; *The Age of Empire, 1875-1914*. London: Penguin Books, 1987; e *Age of Extremes: the Short Twentieth Century, 1914-1991*. Londres: Little, Brown and Co., 1994.

1. Mudança tecnológica e transformações institucionais

As principais características materiais e técnicas da Primeira Revolução Industrial foram as seguintes:

— progressiva substituição da habilidade e do esforço humanos pela utilização de dispositivos mecânicos sempre mais eficazes e aperfeiçoados;

— substituição da energia humana ou animal (e também a da água e do vento) por fontes de energia inertes, especialmente a do minério de carvão, através do uso crescente da máquina a vapor;

— obtenção e utilização — igualmente crescentes — de novos materiais, produtos e processos, principalmente nas indústrias química e mecânica.

Essas mudanças de equipamentos e de procedimentos foram acompanhadas por importantes transformações institucionais na organização da produção manufatureira, que deixou de ser artesanal e doméstica, para tornar-se essencialmente industrial, e passou a concentrar-se em fábricas cada vez maiores e mais mecanizadas. Estas fábricas não eram simplesmente estabelecimentos produtivos de um tamanho maior do que o dos que a precederam; elas também apresentam diferenças qualitativas fundamentais em relação às modalidades anteriores de organização da produção. Essas diferenças residem, em primeiro lugar, na redefinição dos papéis dos principais agentes econômicos: o empregador e/ou o capitalista, que se tornou o único detentor da propriedade, passando a controlar todos os meios de produção, enquanto que os trabalhadores empregados eram destituídos desta propriedade e/ou do controle, reduzidos à simples condição de operários e vendedores de sua própria força de trabalho. Elas se manifestam em seguida pelos novos laços estabelecidos entre estes agentes, que se materializam não somente através da universalização do salário, mas também pela submissão dos trabalhadores ao controle patronal e à disciplina do estabelecimento fabril.

Em termos essencialmente econômicos e tecnológicos, a Primeira Revolução Industrial abriu caminho para aumentos da produtividade do trabalho, para progressos até então impensáveis ou julgados completamente impossíveis. O progresso técnico subjacente difundiu-se rapidamente de um ramo a outro, assim como entre as diversas regiões e os diversos países em vias de industrialização, até abranger a totalidade dos sistemas modernos, nos quais já se tornou banal falar em termos como o processo de

industrialização da agricultura e/ou da automatização de todos os tipos de procedimentos produtivos.

Foi a partir dessa Revolução Industrial, e as seguintes apenas o confirmariam, que o desenvolvimento tecnológico se tornou auto-sustentado *(self-sustained)*, condição que ainda está longe de ter sido preenchida, quer pelo desenvolvimento econômico — sujeito a toda sorte de obstáculos e de retrocessos — seja pelo próprio progresso técnico. Este depende, como já assinalamos, da adoção e da utilização dos novos conhecimentos no domínio da produção, cuja evolução está essencialmente ligada ao desenvolvimento econômico, enquanto que o desenvolvimento tecnológico vincula-se à aquisição e acumulação de conhecimentos (*know how)* a partir, ou através, do progresso científico.

Até este momento, nem o progresso técnico nem o desenvolvimento econômico conseguiram tornar-se irreversíveis e "auto-sustentáveis", contrariamente ao desenvolvimento tecnológico e ao progresso científico, cujas fronteiras e limites têm sido constantemente ultrapassadas. Ao contrário destes últimos, o progresso técnico e o desenvolvimento econômico nunca foram tranqüilos ou espontâneos. Eles sempre implicaram em perdas para os detentores de tecnologias ultrapassadas. Ora, durante a Primeira Revolução Industrial houve, ao mesmo tempo, progresso técnico e desenvolvimento econômico, e foi justamente por causa de sua intensidade e de sua permanência que o progresso científico e o desenvolvimento tecnológico puderam ter um progresso considerável e definitivo, tornando-se hoje irreversíveis e auto-sustentáveis.

O progresso técnico da Primeira Revolução Industrial deu-se em torno da mecanização da produção industrial, processo cuja grande novidade residiu menos na utilização das próprias máquinas, algumas das quais já eram antigas, do que no uso daquilo que Marx[11] chamou de maquinaria — quer dizer, a reunião e a conjugação de um sistema de máquinas e de seus operadores na fábrica. Esta transformação do processo de trabalho começou a desenvolver-se plenamente, pela primeira vez, na indústria têxtil algodoeira, a qual por isso mesmo constituiu segundo Mantoux[12], a primeira modalidade e o primeiro exemplo clássico de grande indústria

[11] Ver: K. Marx. *Le Capital*, Livre 1er, Ch. 15 ("Le machinisme et la grande industrie"). Reedição francesa. Paris: Éditions Sociales, 1954.

[12] P. Mantoux. Op. cit., cap 1 da segunda parte.

moderna (grande em relação ao capital, ao número de trabalhadores, e ao volume de sua produção).

Este sistema implicou, de um lado, na definitiva substituição da manufatura pela maquinofatura e, do outro, na concentração dos meios de produção no âmbito da empresa industrial, processo pelo qual a propriedade e o controle destes meios passaram das mãos do comerciante manufatureiro às do capitalista industrial. Ambos eram empresários capitalistas, mas eles se diferenciavam entre si pelo modo de acumulação e pela composição orgânica de seus respectivos capitais. Os papéis do comerciante e do industrial poderiam, daí em diante, ser assumidos pelas mesmas pessoas apenas sucessivamente, mas nunca simultaneamente. E foi por esta razão que essa concentração representou também a transição do capitalismo mercantil do Antigo Regime ao capitalismo industrial dos tempos modernos.

2. *A importância das minas de carvão*

Por que estas transformações ocorreram primeiro na indústria algodoeira e na Grã-Bretanha? Antes de responder esta pergunta, convém lembrar um fato atualmente bastante conhecido: se é verdade que a Revolução Industrial teve início neste ramo, seu desenvolvimento de modo algum limitou-se a ele. Ao contrário, ele foi acompanhado de outras mudanças, igualmente significativas, em outros ramos industriais, especialmente na metalurgia do ferro e na exploração das minas de carvão. Essas mudanças foram na verdade interdependentes e se traduziram, simultaneamente, pela substituição na metalurgia do carvão vegetal pelo carvão mineral, e pelo aparecimento da máquina a vapor.

A primeira dessas inovações fez crescer a oferta, melhorar a qualidade e reduzir os custos de uma matéria-prima indispensável para a fabricação de todo tipo de máquinas, inclusive daquelas que são utilizadas na indústria têxtil, as quais, a partir do momento em que não foram mais construídas de madeira, tornaram-se mais resistentes e mais produtivas.[13] A segunda inovação, representada pela máquina a vapor, teve efeitos ainda mais importantes, na medida em que constituiu uma nova maneira de produzir energia. Ela permitiu não somente aumentar a oferta da mesma, mas ainda

[13] P. Bairoch. Op. cit., p. 89-91 e 255.

descentralizá-la e torná-la independente das forças da natureza. E isto contribuiu tanto para aumentar e diversificar a produção industrial, como para revolucionar os meios de transporte através das estradas de ferro e da navegação a vapor.

O elemento de ligação entre essas inovações situava-se nas minas de carvão britânicas, que podem, em conseqüência, ser consideradas, junto com a indústria têxtil algodoeira, como um dos motores da Primeira Revolução Industrial. Bem antes desta, e antes mesmo de se transformar em matéria-prima da metalurgia sob a forma de coque, e em fonte de energia através da máquina a vapor, o carvão já era muito importante na Grã-Bretanha sob o ponto de vista econômico. Ele era consumido em grandes quantidades como fonte de calor doméstico no lugar da madeira, que já se tinha tornado rara e cara desde o final da Idade Média. O consumo do carvão era sobretudo importante nas cidades, cujas populações tinham os meios financeiros necessários para adquiri-lo.

Cumpre lembrar que, no princípio do século XVIII, a Grã-Bretanha já estava bastante urbanizada e que Londres era a maior cidade européia. Foi o crescimento urbano que proporcionou, de fato, o aumento da procura de carvão mineral, contribuindo para a sua extração de camadas cada vez mais profundas do subsolo. Este fenômeno, por sua vez, daria origem às primeiras máquinas a vapor, utilizadas inicialmente para bombear as águas que tendiam a inundar as minas subterrâneas, bem como ao desenvolvimento da produção de trilhos (a princípio de madeira), empregados para facilitar o transporte do carvão extraído por vagões no lamaçal das galerias.

Desta forma, a exploração das minas de carvão tornou-se, econômica e tecnologicamente, um dos ramos de atividades fundamentais e um importante fator do início da Primeira Revolução Industrial. Em meados do século XVIII, a procura desse minério já era muito grande e crescente, enquanto que sua oferta requeria não apenas máquinas a vapor sempre mais eficazes e mais potentes, mas também vias e meios de transporte capazes de fazer escoar a produção das minas situadas no campo em direção aos centros consumidores urbanos. Esta necessidade, por sua vez, favoreceu a emergência e depois o desenvolvimento dos transportes por canais e, mais tarde, o aparecimento das estradas de ferro, para as quais os carvoeiros forneceram o combustível e a indispensável base técnica. Devido a isso, as estradas de ferro, e, mais particularmente o transporte

ferroviário, podem ser considerados como "descendentes" das minas de carvão.

Contudo, essas inovações foram posteriores à Primeira Revolução Industrial, além de terem sido geradas por ela. As origens diretas da mesma devem ser atribuídas, de um lado, a determinações essencialmente econômicas e, do outro, ao peso do comércio internacional. A Grã-Bretanha foi o primeiro país a se industrializar, e sua industrialização, contrariamente às que lhe foram posteriores, não resultou de um projeto político explícito ou implícito de suas classes dirigentes. Ela constituiu o coroamento de um processo evolutivo e gradual, cujas origens distantes remontavam ao fim da Idade Média, e cuja aceleração no século XVIII resultou, sobretudo, de fatores econômicos e sociais.

3. Por que a manufatura do algodão?

Estes fatores se referiam, em primeiro lugar, a um crescente desajuste do sistema produtivo da Grã-Bretanha em relação às condições existentes nos mercados nacionais e internacionais. Em meados do século XVIII, o sistema dominante, conhecido pelo nome de *putting out system*, ainda era o do trabalho a domicílio, coordenado e controlado pelo capital comercial, e realizado sobretudo no campo por unidades familiares que transformavam as matérias-primas recebidas dos comerciantes, aos quais a produção era destinada. Tendo atingido o máximo de sua capacidade de expansão, ele não conseguia mais satisfazer a demanda sempre crescente dos mercados consumidores.

Simultaneamente, os custos da força-de-trabalho estavam se elevando sem cessar, enquanto que sua produtividade se mantinha constante, na melhor das hipóteses. Em conseqüência, os lucros dos comerciantes começaram progressivamente a baixar. Além disso, crescentes desequilíbrios foram se estabelecendo no interior da própria produção têxtil, especialmente entre a fiação e a tecelagem, com a primeira não chegando a acompanhar a evolução da segunda. Estimulada até então pelo aumento da remuneração dos produtores, a produção dos fios tinha, de fato, cessado de crescer, porque os estímulos materiais não funcionavam mais, enquanto que os comerciantes foram perdendo pouco a pouco o controle da produção, o que provocava a baixa inevitável de seus lucros. Foi fundamentalmente por causa desta situação que começaria a aparecer e, final-

mente, a ser colocada em prática, a idéia de reunir os produtores diretos em estabelecimentos específicos e devidamente equipados — as futuras fábricas — onde suas atividades pudessem ser melhor vigiadas, disciplinadas e progressivamente cada vez mais mecanizadas.

Estas inovações tecnológicas e organizacionais foram adotadas e difundidas em primeiro lugar na manufatura do algodão, e não na da lã, que, até meados do século XVIII, continuava a representar a principal atividade econômica britânica, inclusive do ponto de vista tecnológico. Foi nela que se originou a maior parte dos aperfeiçoamentos mecânicos da produção têxtil. A primazia da indústria algodoeira vinha sobretudo de seu maior dinamismo: graças a seus custos e a seus preços mais baixos, sua produção começou a conquistar os mercados da lã e do linho, tanto no interior como no exterior do País. Sua superioridade se baseava em parte em causas técnicas, porque se trabalhava mais facilmente o algodão do que as fibras concorrentes. Mas, a principal razão do dinamismo da indústria têxtil algodoeira era de natureza econômica: ela residia em suas vinculações com o comércio internacional, tanto do lado da oferta da matéria-prima como do lado da demanda de seus produtos finais.

A elasticidade da produção em relação aos preços é claramente superior no algodão à da lã, porque é muito mais rápido e mais fácil aumentar as superfícies cultivadas de algodão que multiplicar o número de carneiros. Assim, durante os decênios de 1770 e 1780, a uma alta de 50% nos preços da fibra correspondeu um crescimento de 700% da quantidade produzida, o que, evidentemente, não tardaria a fazer baixar os preços, a fim de manter pelo menos constante a evolução da procura. Segundo Hobsbawm,[14] também esta se revelou extremamente dinâmica, porque os principais mercados de tecidos e de artigos de algodão estavam situados fora da Grã-Bretanha, e até fora do continente europeu.

Na verdade, a indústria têxtil algodoeira britânica constituía um elemento do comércio colonial em expansão e, mais especificamente, do tráfico de escravos, também em aumento constante. Foi por estas razões que ela se localizou inicialmente nos arredores dos portos britânicos especializados nesta espécie de comércio, em particular em torno de Liverpool. Eric

[14] Ver E. Hobsbawm. "Le origine della Rivoluzione Industriale britannica", *Studi Storici*, n.º 4, julho-dezembro, 1961; e *Industry and Empire*. Londres: Penguin Books, 1968.

Hobsbawm afirma que, durante todo o período inicial da Primeira Revolução Industrial na Grã-Bretanha, o comércio internacional dos produtos de algodão e o tráfico de escravos africanos aumentaram conjuntamente, ambos tendo sido extremamente lucrativos. As compras britânicas de escravos na África eram pagas em tecidos de algodão, inicialmente produzidos nas Índias Orientais e mais tarde substituídos pelos tecidos fabricados na própria Grã-Bretanha. Estes eram também exportados para as Antilhas, onde o trabalho dos escravos produzia uma parte da matéria-prima consumida pelas fábricas britânicas que concorriam com as manufaturas artesanais indianas.

Entre 1760 e 1785, a produção de tecidos de algodão da Grã-Bretanha aumentou 1000%, uma taxa de crescimento que se repetiria nas quatro décadas seguintes. A maior parte desse crescimento exponencial deveu-se às exportações, e a satisfação desta demanda externa não poderia ter sido obtida sem mudanças profundas na indústria têxtil. Estas mudanças se materializaram através de sucessivas inovações tecnológicas na fiação, na tecelagem, na preparação e no acabamento dos tecidos de algodão. E isto foi se dando até a obtenção de um novo equilíbrio interno da produção, agora em níveis de produtividade incomparavelmente mais elevados que os anteriores. Outra vantagem foi a contínua redução dos custos da mão-de-obra pelo aumento de sua disponibilidade, ligada ao acentuado crescimento do desemprego tecnológico, decorrente da crescente mecanização do sistema produtivo.

Em 1760, a produção de tecidos de algodão ainda era espacialmente dispersa e muito pouco mecanizada. Um quarto de século mais tarde, a maior parte de suas operações estavam mecanizadas e parcialmente concentradas nas fábricas. Somente a tecelagem permanecia descentralizada, e vários decênios seriam ainda necessários para modificar substancialmente esta situação através da integração de todas as operações em fábricas de fios e de tecidos. Mas, já antes disso, os preços destes últimos haviam baixado a um vigésimo de seu nível anterior ao início da mecanização, obrigando até os produtores da Índia a paralisarem suas atividades.

A partir desse momento, as fábricas britânicas tornaram-se um símbolo visível do poderio industrial daquele país, dando origem simultaneamente a um novo e preocupante problema social: a emergência e o crescimento do proletariado industrial e urbano. Numerosos analistas colocaram em

evidência, desde aquela época, e mais ainda durante o século XIX, o fato do empresário e do operário se tornarem, daí em diante, inevitavelmente ligados à fábrica: o empresário capitalista através dos seus investimentos, e o operário pelo emprego e pelo trabalho. Para o empresário, a fábrica representava custos fixos em constante aumento, que promoviam a imobilização de grande parte do seu capital sob a forma de máquinas e de instalações diversas. Mas, as mudanças foram ainda mais substanciais para os operários, na medida em que seus processos de produção e suas relações de trabalho foram fundamentalmente alteradas pela Primeira Revolução Industrial.

A partir desta, o operário foi transformado não só em simples mão-de-obra, mas também em apêndice da máquina. Sua produção cessou de ser individual, para transformar-se numa parte perfeitamente substituível da produção coletiva. Por causa da perda da propriedade e do controle dos meios de produção, ele passou a ter que se submeter aos salários que lhe eram oferecidos, bem como a uma nova disciplina de trabalho. Ele se tornou inteiramente subordinado aos desejos e às determinações do capital, com tudo o que isto implicava tanto no âmbito de seu trabalho como no de sua vida doméstica.

4. Por que a Grã-Bretanha?

Pelo que foi dito até agora, parece evidente que a primazia britânica na Primeira Revolução Industrial deve ser atribuída, não a fatores de ordem científica e/ou tecnológica, mas a variáveis econômicas e sociais. As mudanças tecnológicas aqui mencionadas, na melhor das hipóteses, ajudaram a desencadear o processo, mas nunca a alicerçá-lo.

Com relação à estrutura interna de sua economia e de sua sociedade, a Grã-Bretanha já era, antes da Primeira Revolução Industrial, um país bastante diverso do resto da Europa, e bem mais avançado em quase todos os domínios. Em meados do século XVIII, ela havia completado uma revolução política iniciada um século antes, a qual desembocou na formação de um regime liberal e parlamentar sensível às questões econômicas e sociais.

Sua agricultura já era essencialmente capitalista, e uma parte significativa de sua população ativa vivia e trabalhava fora dela — se não completamente, pelo menos durante boa parte do ano. Esta situação se tornou possível por causa de sua alta produtividade, derivada de uma revolução

agrícola anterior, que transformara por completo os modos de produção e de trabalho. Esta foi, provavelmente, o primeiro exemplo histórico de uma modernização conservadora da economia rural.[15]

Além disso, o desenvolvimento econômico, assim como a consolidação da propriedade e da iniciativa privadas, constituíam desde muito tempo objetivos prioritários das políticas governamentais, tanto no interior como no exterior daquele país. O espírito burguês e o desejo do lucro predominavam em todas as classes da sociedade britânica, das mais humildes à mais próspera. Foi em parte por causa disso que empreendedores ousados e competentes puderam ser recrutados, em proporções diferentes, em cada uma delas.[16]

Os níveis médios de renda eram igualmente mais elevados do que os de outros lugares. A Grã-Bretanha possuía numerosos capitais prontos a serem investidos, assim como redes de instituições financeiras relativamente eficazes. Suas infra-estruturas de transporte e de comunicações eram bem desenvolvidas para a época, ao mesmo tempo que a geografia do País, inclusive a sua insularidade, estimulavam tanto o comércio internacional quanto as trocas internas entre as diversas regiões e entre os centros urbanos.

Enfim, sua força de trabalho era suficientemente qualificada em relação às tecnologias existentes, e os conhecimentos técnicos estavam geralmente bem disseminados. O espírito inventivo e o interesse em promovê-lo eram amplamente fomentados, graças a um sistema de patentes e de proteção da propriedade intelectual instaurado desde o início do século XVII.[17]

A modernização capitalista da agricultura e a destruição da manufatura pela grande indústria geraram a aparição e, em seguida, o rápido cresci-

[15] Ou seja, de mudança das técnicas de produção sem qualquer alteração nas relações sociais — um processo cujo exemplo mais famoso seria propiciado pelos Junkers da Prússia no século XIX.

[16] Ver, a esse respeito, os numerosos exemplos citado por C. Morazé, num livro com o título evocativo de *Les Bourgeois Conquérants* (Paris: Armand Colin, 1957).

[17] Conforme é atestado por Max Weber no último capítulo de sua *Wirtschaftsgeschichte: Abriss der universalen sozial und Wirtschaftsgeschichte*, publicada postumamente em 1923. Traduzida para o espanhol, com o título de *Historia Económica General*. México: Fondo de Cultura Económica, 1942.

mento de uma mão-de-obra numerosa, de baixo custo, e de trato relativamente fácil, apesar das inúmeras lutas sociais, capaz de se submeter à disciplina industrial. A mobilidade social era intensa, tanto no ápice como na base da estratificação social. Os trabalhadores migravam facilmente de uma região para a outra, e de um ramo de atividade para outro. Um grande número de artesãos e de comerciantes tornaram-se industriais, e estes, depois de enriquecer, procuravam adquirir terras e transformar-se em financistas, chegando mesmo a penetrar na esfera política. A entrada no mundo da indústria era relativamente livre, pelo menos no princípio, para todos aqueles que dispusessem de um mínimo de capital e/ou de uma certa competência técnica.

Devido à sua anterioridade, a Revolução Industrial britânica foi, em grande parte, independente de contingências externas. Ela não foi beneficiada, nem prejudicada, pela preexistência de uma ou de várias outras economia(s) industrializada(s). Mas, ao mesmo tempo, como já afirmamos, o desenvolvimento da Grã-Bretanha foi forte e favoravelmente influenciado por circunstâncias específicas do mercado internacional, mais particularmente pelas relações vigentes na periferia de um império colonial, que ela não tardaria a dominar e a controlar após uma sucessão de guerras vitoriosas contra a Espanha, a Holanda e a França.

Sua hegemonia nesse campo não chegou sequer a ser abalada pela independência dos Estados Unidos, mesmo porque estes últimos procuraram rapidamente restabelecer as relações econômicas com a antiga metrópole. Além disso, sua influência internacional acabou aumentando consideravelmente através da progressiva autonomia política dos países latino-americanos.

Na verdade, essa situação não era nova, porque antes mesmo da Revolução Industrial, a Grã-Bretanha já era uma grande potência militar e política, e não podia ser considerada um país atrasado do ponto de vista do desenvolvimento econômico. Seu mercado interno, relativamente grande e dinâmico, contribuía de forma significativa para o crescimento sustentado de seu produto nacional.

Mas, este crescimento se aceleraria bastante ao longo do século XVIII, e mais ainda no século XIX, por causa do dinamismo dos mercados internacionais, nos quais ela ocuparia, durante vários decênios, uma posição de monopólio por seus produtos manufaturados, e uma de monopsônio em relação à demanda de numerosos produtos primários. Do mesmo modo,

ela dominaria mais tarde, de manei-ra quase absoluta, os serviços de transporte e os seguros marítimos, as telê-comunicações e a intermediação financeira.

É preciso assinalar ainda a existência de um outro fator muito importante para o seu desenvolvimento industrial: a atividade e as iniciativas do governo britânico, não em termos de uma política industrial, ainda inexistente na época, mas através de um apoio irrestrito — compreendendo neste sentido até mesmo o uso da força das armas — aos interesses externos e às ações internacionais dos seus empresários. Essa política militarista teve conseqüências positivas para a economia, porque o exército e a marinha contribuíam bastante para manter elevada a demanda interna de vários produtos manufaturados e de alguns serviços.

Enfim, é útil lembrar que as empresas britânicas do fim do século XVIII e do início do século XIX, ainda que individuais ou familiares, já eram muito mais abertas do que as suas homólogas européias, a associações com terceiros. Desde cedo, elas se orientaram em direção à procura exclusiva do lucro, do maior lucro possível, independentemente de qualquer outra consideração. E foi devido a esse estado de espírito que os empresários britânicos rapidamente perceberam as vantagens que lhes poderia trazer o progresso técnico face aos seus concorrentes.

Desta atitude favorável ao progresso técnico até a inovação sistemática havia apenas um passo, que os mais ativos não tardariam a dar. Evidentemente, este fenômeno aumentou consideravelmente a importância econômica da tecnologia, assim como o caráter essencialmente econômico da indução de sua mudança através da pesquisa. Contudo, de uma maneira geral, nem essa tecnologia nem a sua mudança através do tempo estavam ainda ancoradas na ciência ou ligadas a seu progresso. As únicas exceções localizavam-se na indústria química.

Mas, o advento e o desenvolvimento desta última foram, de um lado, conseqüências diretas da Revolução Industrial na fabricação de tecidos, e do outro, resultantes da expansão da pesquisa no ensino superior, assim como da profissionalização das ciências e das técnicas no século XIX. Por esta última razão, seu desenvolvimento só será estudado na parte seguinte deste trabalho.

II — A profissionalização da pesquisa no século XIX

O período que se estende do final do século XVIII ao início do século XX, quer dizer, desde as duas grandes revoluções políticas — a norte-americana (1776) e a francesa (1789) — e a Primeira Revolução Industrial (a princípio na Inglaterra, em seguida numa parte da Europa e na América do Norte), até a Primeira Guerra Mundial, pode ser considerado como a época da formação das ciências e da tecnologia modernas. Durante este longo século XIX, tais transformações econômicas, sociais e políticas tornaram-se, em numerosos países, variáveis fundamentais, não somente do desenvolvimento socioeconômico, mas também do processo histórico como um todo. Ao mesmo tempo, novos agentes os cientistas de um lado, os técnicos e os engenheiros do outro foram preenchendo, pela primeira vez, os papéis e as funções que ainda lhes pertencem atualmente. Numerosas instituições científicas contemporâneas foram criadas antes de 1914, numa época em que a pesquisa científica e tecnológica estava começando a tornar-se uma atividade relativamente banal, não apenas nos laboratórios das universidades como também dentro das grandes empresas dos países mais avançados.

O objetivo desta segunda parte de nosso trabalho é o de mostrar como este processo se desenvolveu na França, na Grã-Bretanha, na Alemanha e nos Estados Unidos. Em todos esses países as transformações sociais e econômicas subjacentes foram bastante parecidas, só apresentando, algumas vezes, diferenças sensíveis quanto à sua materialização (por exemplo, o papel do Estado foi diferente em cada lugar). Em todos os casos, porém, houve mudanças nas relações entre o progresso técnico e o progresso científico, assim como entre o progresso científico e técnico e o desenvolvimento econômico.

Até o término da Primeira Revolução Industrial, as ciências e a tecnologia permaneceram separadas entre si: as descobertas científicas tiveram poucos efeitos diretos e imediatos sobre a evolução da tecnologia, enquanto que a passagem da invenção para a inovação continuou sendo relativamente rara, quase excepcional. Na verdade, o progresso técnico tendeu a preceder o progresso científico, e a criar problemas que as ciências se viram forçadas a resolver em seguida. Mas, desde o início do século XIX, paralelamente à difusão dos efeitos da Primeira Revolução Industrial, esta situação foi se modificando progressivamente.

Um exemplo significativo dos novos vínculos entre o progresso técnico e o progresso científico pode ser encontrado no desenvolvimento do telégrafo elétrico,[18] uma inovação tecnológica derivada dos novos conhecimentos da física sobre a eletricidade (Ampère, Volta, por exemplo). Dentro dessa mesma ordem de idéias, pode-se mencionar as experiências eletromagnéticas de Michael Faraday (1791-1867), que conduziram à invenção do dínamo e ao aparecimento da indústria de máquinas elétricas, sem esquecermos as de seu ilustre sucessor, James Clerk Maxwell (1831-1879), fundamentais para o aparecimento do telefone e do rádio.

Se as relações entre ciência, tecnologia e economia tornaram-se finalmente visíveis no decorrer do século XIX, isto decorreu, em parte, da transformação das ciências e das técnicas em atividades sociais autônomas e diferenciadas, exercidas de maneira cada vez mais integrada e contínua por agentes devidamente especializados — os cientistas e os engenheiros — cujas funções passam a ser socialmente reconhecidas e remuneradas. É claro que este fenômeno não teve a mesma amplitude, as mesmas características, o mesmo ritmo em cada país ou, no interior de um mesmo país, em cada disciplina científica ou tecnológica.

As origens deste processo remontam ao Renascimento e à Revolução Científica dos séculos XVI e XVII, quando se constituiu a chamada *"ciência moderna"*.[19] Foi durante aqueles séculos que se definiram e se estabeleceram suas características essenciais e seus métodos, assim como suas teorias e paradigmas fundamentais. Nos países mais avançados, esse período terminou por volta de 1830, mas foi somente a partir dos anos 1870 que se confirmou neles o aparecimento das ciências contemporâneas, tais como as conhecemos hoje, e pelas quais nossa civilização atual vem sendo tão profundamente influenciada. O período intermediário entre essas duas datas pode ser considerado, ao mesmo tempo, como clássico, por

[18] A primeira linha experimental foi instalada na Inglaterra em 1839. Rapidamente, o telégrafo elétrico passou a substituir o telégrafo ótico. As origens deste último remontam ao século XVII, mas ele só chegou a funcionar, de fato, no final do século XVIII — com a primeira linha tendo sido inaugurada em 1794 — graças aos esforços do físico francês Claude Chappe, no contexto peculiar da Revolução Francesa, devido à necessidade dos novos detentores do poder reorganizarem o território nacional, e de o protegerem contra inimigos internos e externos).

[19] Sobre as origens da Revolução Científica e da própria Ciência Moderna, ver A. Koyré. *Études historiques de la pensée scientifique*. Paris: PUF, 1966.

causa da materialização de todos os processos anteriores, e como uma época de transição, na medida em que se constituiu não somente como no período de gênese e de consolidação de uma nova maneira de produzir os conhecimentos científicos e técnicos, mas também naquele de sua integração crescente na vida econômica e social dos países mais avançados.[20]

É importante realçar que se tratava de mudanças graduais e cumulativas, e não de rupturas, pois, se se pode falar de transformações setoriais mais profundas com respeito à revolução da química no final do século XVIII, ou da biologia com Darwin, no século XIX,[21] é impossível detectar nesse período uma revolução científica ampla e geral, do tipo da copernicana no século XVI, ou da newtoniana no século XVII. Por outro lado, como iremos mostrar na terceira parte deste trabalho, a Segunda Revolução Industrial, contrariamente à Primeira, foi condicionada tanto pelo progresso científico como pelo desenvolvimento da tecnologia aplicada à produção. Nesses dois domínios, contudo, não houve, ao longo do século XIX, mudanças mais profundas ou grandes descontinuidades, mas apenas um reordenamento das atividades dominantes e/ou a substituição de alguns conceitos fundamentais por outros.

1. O papel das universidades

Na verdade, as modificações mais importantes ocorreram no plano institucional. Mediante uma ação mais contínua e mais sistemática, as ciências e a tecnologia tornaram-se mais eficazes e mais efetivas, passando a atrair assim volume crescente de recursos humanos e materiais. E foi justamente nessas décadas intermediárias que cientistas, engenheiros e técnicos definitivamente cessaram de ser amadores esclarecidos e entusiastas, para se tornarem profissionais realmente qualificados e reconhecidos por uma formação universitária cada vez mais específica e mais exigente, diretamente supervisionada pelo Estado, pelas empresas e pelos próprios pesquisadores (com ponderações diferentes de um país para outro, particularmente quanto à repartição dos papéis respectivos do Estado e das empresas).

---

[20] Ver a este respeito o sugestivo ensaio de A. Rupert Hall. "The scientific movement and its influence on thought and material development", in: J. P. T. Bury (org.). *New Cambridge Modern History*, Vol. X ("The zenith of European power, 1830-1870"). Cambridge-UK: Cambridge University Press, 1960, p. 49-75.

[21] Ver os capítulos 14 e 19 de Cohen. Op. cit.

As atividades científicas e tecnológicas foram se profissionalizando a partir do momento em que sua prática começou a ser precedida, e em parte condicionada, por uma formação universitária orientada em direção a um sistema de exames e de certificados legalmente instituídos. Além disso, cumpre assinalar que este sistema foi posto em funcionamento pelos próprios pesquisadores, paralelamente à formação de suas comunidades profissionais mundiais, nacionais, regionais e locais. Diferentemente das organizações científicas tradicionais, um bom número dessas novas associações orientou-se em direção a intervenções práticas de tipo mais ou menos corporativista, com uma lógica de grupos de pressão. Elas contribuíram, além disso, para relativizar o papel das Academias de Ciências criadas e/ou mantidas pelos governos, em muitos lugares da Europa, a partir do século XVII.

A primeira dessas associações de cientistas foi fundada na Alemanha em 1822, quase meio século antes da unificação política daquele país, para cujo advento, aliás, ela contribuiu. A segunda, a British Association for the Advancement of Science, foi criada em 1831, num momento em que os pesquisadores britânicos começaram a sentir-se inferiorizados em relação a seus colegas do continente europeu — os franceses em particular. Estes, porém, só criaram a sua própria associação quarenta anos mais tarde, quando da derrota militar de seu país diante da Prússia. E nisso foram precedidos em duas décadas por seus colegas dos Estados Unidos, que, em 1848, fundaram a American Association for the Advancement of Science.

O século XIX constituiu fundamentalmente uma era de especialização técnica e profissional, um processo que teve importantes repercussões nas práticas e representações individuais e coletivas. As práticas de leitura e de escrita científica foram profundamente afetadas. Embora continuasse ainda durante algum tempo a ser veiculada sob a forma de volumosos tratados, a literatura científica e tecnológica passou a difundir-se cada vez mais, através de periódicos especializados, de manuais e de obras de vulgarização. Tratava-se de revistas e obras especializadas, ainda distantes do hermetismo atual ligado à hiperespecialização das subdisciplinas, e que se esforçavam em difundir os novos conhecimentos e as inovações. No limite, chegaram a desenvolver um verdadeiro esforço de popularização. Esse tipo de preocupação tornou-se igualmente perceptível nas instituições escolares através da introdução de novas disciplinas no ensino primário e secundário, bem como na organização de ciclos de conferências e de debates públicos sobre a ciência e a tecnologia emergentes.

Mas, a principal razão do sucesso público das novas ciências e técnicas residiu provavelmente nos seus resultados concretos e nas suas aplicações práticas, palpáveis na vida cotidiana. Basta lembrar a iluminação a gás, que estava transformando o dia-a-dia nos domicílios e nas cidades; o telégrafo e as estradas de ferro que contribuíam para relativizar as distancias e o tempo; assim como novos produtos da indústria que transformaram as ciências e as técnicas em símbolos de poder, de riqueza e de modernidade.

Devido a tudo isso, o espírito científico e o *savoir-faire* tecnológico tendiam a representar a quintessência da sabedoria e o melhor substituto para as crenças religiosas e as superstições, assumindo parcialmente o lugar da filosofia tradicional. Numerosos pensadores da época — tais como Comte, Saint-Simon, Stuart Mill — bem como as ciências sociais nascentes contribuíam para a formação de um pensamento cujo cientificismo e positivismo são atualmente fáceis de serem ridicularizados. Mas, esta não será a nossa preocupação aqui. Nosso objetivo consistirá, de um lado, em mostrar como se deu a profissionalização das ciências e da tecnologia no século XIX, e do outro, em estudar as conseqüências desse fato. Para tanto, examinaremos sucessivamente as situações da França, da Grã-Bretanha, da Alemanha e dos EUA, lembrando que os processos envolvidos foram muitas vezes simultâneos e interrelacionados.

2. *Os primórdios na França e na Grã-Bretanha*

Segundo a maior parte dos autores consultados,[22] tudo começou na França nos últimos anos do século XVIII, durante a fase construtiva da Revolução, depois do Terror e antes de Napoleão, com a criação, em 1794-95, de instituições de ensino superior e de pesquisa simultaneamente novas e inovadoras, como a Escola Normal Superior, o *Museum* de História Natural e, sobretudo, a Escola Politécnica de Paris. Através destas institui-

[22] Ver os trabalhos de M. P. Crosland. *The Society of Arcueil: a View of a French Science at the Time of Napoleon I.* Londres: Heinemann, 1967; J. Ben-Davi. *The Scientist's Role in Society: a Comparative View.* Nova York: Prentice-Hall, 1971; R. Fox & G. Weisz (orgs.). *The Organization of Science and Technology in France, 1808-1914.* Cambridge-UK: Cambridge University Press, 1977; e D. Knight. *The Age of Science: the Scientific World-view in the Nineteenth Century.* Oxford: Basil Blackwell, 1986.

ções e de algumas figuras emblemáticas como as do matemático Joseph Lagrange (1736-1813), do astrônomo Pierre Laplace (1749-1827), do naturalista Georges Cuvier (1769-1832) e do químico Claude Berthollet (1748-1822), a França recuperou a supremacia e o prestígio científicos que tinham sido seus na Europa antes da Revolução, e que ela conservaria durante as três primeiras décadas do século XIX.

Essa supremacia científica não teve contrapartida no nível tecnológico, com a Grã-Bretanha continuando sem rivais nesse campo. Os progressos técnicos da Primeira Revolução Industrial foram, por essa razão, fundamentalmente britânicos. Mas, no âmbito das instituições científicas, o modelo francês não tardaria a ser adotado por muitos países do Continente europeu, particularmente pela Alemanha, onde a fundação da Universidade de Berlim, no início do século XIX, com a incorporação dos ativos e do pessoal da Academia de Ciências da Prússia, marcou o princípio de uma nova orientação, que seria, por sua vez, adotada por vários países, inclusive pela Grã-Bretanha e pelos Estados Unidos.

Joseph Ben-David, célebre sociólogo da ciência, mas também bastante conservador, não atribuiu grande importância a essas inovações francesas, preferindo realçar o significado da participação dos cientistas daquele país nos governos de Napoleão e da Restauração. Foi esta participação, segundo ele, que abriu as portas da ajuda pública e oficial para a pesquisa, práticas que se propagariam rapidamente ao resto da Europa. Mas, para Ben-David, esta prática acabaria se tornando artificial, na medida em que não conseguiu criar raízes e ramificações, redundando numa decadência da ciência francesa a partir da Segunda República (1830), tendo sido preciso esperar os últimos decênios do século XIX para que a ciência daquele país conhecesse um novo desenvolvimento, mas num ritmo mais lento que em outros lugares, especialmente na Alemanha.

Apesar da validez das suas críticas com relação aos excessos do centralismo administrativo e ao individualismo dos pesquisadores daquele país, a análise de Ben-David sobre a evolução científica francesa não pode ser aceita sem reservas. Em sua obra, por exemplo, Louis Pasteur (1822-1895) passa praticamente despercebido, enquanto que o casal Pierre e Marie Curie nem aparece. Um diagnóstico mais equilibrado é apresentado pelo historiador britânico David Knight. No segundo capítulo do seu *The Age of Science* (1986), ele mostra, de um lado, como foi na França que, pela primeira vez, a ciência deixou de ser um *hobby* de amadores para tornar-se

uma verdadeira profissão e, do outro, que os franceses foram pioneiros no ensino de disciplinas científicas como a química e a física, assim como na formação de novos pesquisadores para as universidades. Aliás, numerosos pesquisadores europeus reconheceram na época a fecundidade do sistema francês, como foi o caso de Justus von Liebig (1803-1873), o qual, depois de ter terminado seus estudos na Alemanha, foi à Escola Politécnica de Paris, para fazer um estágio de pesquisa com Joseph Gay-Lussac (1778-1850).

Em compensação, Ben-David e Knight estão inteiramente de acordo quanto ao atraso científico da Inglaterra no final do século XVIII e início do século XIX. A academia de ciências daquele país, a famosa Royal Society, fundada em 1662, encontrava-se então em plena decadência. Ela era na época mais um clube social do que uma instituição científica. A pesquisa só podia ser desenvolvida nela por aqueles que tivessem meios financeiros para tanto ou a possibilidade de obter uma ajuda por parte de um mecenas. Os raros progressos científicos ingleses no final do século XVIII foram devidos às atividades de algumas academias do interior do País, como a Lunar Society de Birmingham, ou a Sociedade Literária e Filosófica de Manchester. É importante dizer que esses dois organismos se situavam nas proximidades dos principais centros industriais da Grã-Bretanha, o que permitia a seus membros um contato permanente com as inovações tecnológicas então introduzidas.

Apesar de seu tamanho reduzido (catorze membros), a Lunar Society contava entre seus participantes, com figuras ilustres como Erasmus Darwin, o avô do naturalista; o inventor James Watt; o industrial Matthew Boulton; e o químico Joseph Priestley (1733-1804), que seria obrigado, nos anos 1790, a exilar-se nos Estados Unidos por causa de suas simpatias pela Revolução Francesa. A Sociedade de Manchester era também muito ativa: organizava cursos para os técnicos industriais da região, e foi indiretamente causadora da criação de uma universidade na cidade. Entre seus membros figuravam diversos industriais e pelo menos um cientista de renome, o químico John Dalton (1766-1844), que se tornaria célebre, não somente pela sua teoria do "daltonismo" (do qual ele sofria), mas sobretudo por causa de sua teoria atômica dos elementos químicos. Além destas academias do interior, podia-se mencionar a Royal Institution, criada em 1799, e que, desde o início do século XIX, se faria conhecer por suas conferências consagradas à difusão dos resultados das pesquisas. Mas, a sua importância

histórica repousava sobretudo no fato de abrigar um laboratório em que trabalhavam o químico Humphry Davy (1778-1829) e seu famoso assistente, Michael Faraday.

Outras mudanças institucionais mais significativas só se produziriam ao final das Guerras Napoleônicas, em 1815, com a criação das universidades de Londres e de Durham, ambas amplamente voltadas para o ensino das ciências e para a pesquisa. Foi também naquela época que as atividades científicas e técnicas começaram a ser aceitas pela Universidade de Cambridge, mas não ainda pela de Oxford. Até então os estudos científicos só haviam prosperado nas universidades escocesas. Era em Cambridge que trabalhava o matemático Charles Babbage (1792-1871), um dos primeiros inventores do computador, o mesmo que, em 1830, publicou suas célebres *Reflections on the Decline of Science in England and on Some of Its Causes*, que iriam contribuir largamente, no ano seguinte, para a fundação da British Association for the Advancement of Science. É preciso convir que a crítica de Babbage, apesar de oportuna, face ao atraso das instituições científicas de seu país, foi muito severa com relação à produção de conhecimentos pelos pesquisadores britânicos de seu tempo. Neste sentido basta lembrar os nomes de Charles Darwin ou dos grandes físicos Michael Faraday, James Clerk Maxwell e William Thomson (1824-1907), que se tornaria mais tarde Lord Kelvin.

Observações similares podem ser formuladas no que se refere à França. Foi realmente com Pasteur que se iniciaram os novos conhecimentos fundamentais no campo da microbiologia, e que iriam permitir resolver problemas concretos nos domínios da saúde humana e animal. E tampouco podemos esquecer o legado organizacional da pesquisa, representado pelo Instituto que leva seu nome, cujo exemplo e influência ultrapassaram as fronteiras francesas.

3. O caso da química e da indústria química

Na verdade, porém, nem as ciências nem a tecnologia, nem quaisquer outras atividades econômicas e sociais de um país podem se desenvolver a longo prazo sustentadas apenas pela ação de alguns grandes pesquisadores, por mais emblemáticos que sejam. É preciso que nele ocorra a formação em massa de futuros profissionais destinados a exercer as atividades de pesquisa nos níveis superior e intermediário. Ora, essa era

uma dimensão que ainda fazia falta na França e na Grã-Bretanha. A França, em particular, apresentava a seu favor poucas realizações técnicas maiores, enquanto que seu desenvolvimento econômico e social permanecia menos contínuo que o dos Estados Unidos e da Alemanha. Os efeitos negativos desta situação podiam ser constatados tanto no plano militar, com a derrota francesa pela Prússia em 1871, como no das indústrias dinâmicas, e particularmente na de produtos químicos, que assegurariam até 1914 a supremacia econômica da Alemanha sobre o resto do continente europeu.

No princípio, nem a química nem as suas primeiras aplicações industriais foram realmente alemãs. A revolução química foi obra de franceses (Lavoisier, em particular), enquanto que suas primeiras aplicações foram essencialmente britânicas. A fabricação em larga escala do carbonato de sódio era um empreendimento de além do Canal da Mancha, enquanto que sua utilização para o branqueamento e a tintura de tecidos foi devida às indústrias têxteis britânicas.[23] A Grã-Bretanha foi também o país da descoberta das anilinas derivadas do carvão. Essa descoberta, feita por William Perkin (1838-1907) no ano de 1856, iria dar origem à prosperidade da indústria química alemã.

A superioridade desta última era devida menos a fatores científicos e tecnológicos do que a razões econômicas e sociais, notadamente a disponibilidade de uma mão-de-obra com a necessária competência técnica, mais numerosa e melhor qualificada do que a dos outros países. Em 1840, os cursos alemães de química já eram os mais desenvolvidos do mundo em termos qualitativos. Seu progresso espetacular deve ser atribuído às reformas do ensino universitário iniciadas no começo do século XIX por Alexander von Humboldt. Foi nelas que, pela primeira vez, se enunciou o princípio formal da unidade entre a pesquisa e o ensino (*Einheit der Forschung und Lehre*), que permitiria a todo cientista de valor transformar-se em professor. A tarefa desses novos professores não se limitava somente à formação de novos profissionais pela simples reprodução do saber estabelecido; ela estava também, e principalmente, voltada para a produção de novos conhecimentos, através das pesquisas em equipe.

[21] Ver a respeito o artigo de K. H. Wolf. "Textile bleaching and the birth of the chemical industry", *Business History Review*, XLVIII (2), Summer, 1974, p. 143-63.

Bernadette Bensaude-Vincent, num artigo de 1991,[24] analisou as relações entre a pesquisa fundamental e a pesquisa aplicada, confrontando as carreiras de três pares de grandes especialistas, cada uma pertencendo a uma fase distinta — não somente do progresso técnico e científico, mas também do desenvolvimento econômico e social. A primeira dessas fases, que a Autora chamou de "a era dos fundadores", foi a de Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) e de Nicolas Leblanc (1742-1806), contemporâneos muito próximos entre si, tanto ao nível das circunstâncias trágicas das mortes de ambos quanto no de suas respectivas trajetórias científicas. O percurso deles foi revelador do final de um período, no qual o trabalho científico se baseava ainda nos próprios meios do pesquisador ou no apoio financeiro de um mecenas. Tanto para Lavoisier, criador da química moderna, como para Leblanc, pai da moderna indústria química, não havia ainda grandes diferenças entre descobertas científicas e invenções técnicas, nem entre pesquisa fundamental e pesquisa aplicada.

Esta distinção somente começaria a aparecer na segunda fase, a "época dos professores", na qual Bensaude-Vincent opõe as figuras e as carreiras de Gay-Lussac e de Liebig. O primeiro era um engenheiro formado pela Escola Politécnica de Paris, onde foi professor e pesquisador entre 1804 e 1840. Ele foi ao mesmo tempo consultor e conselheiro de várias grandes empresas francesas, principalmente a Saint-Gobain. Por sua vez, Liebig, um de seus discípulos, entre 1822 e 1824, ocuparia a cadeira de química da Universidade de Giessen. Conhecido, sobretudo, por ter fundado a química agrícola, ele foi também um pioneiro na transformação dos laboratórios em salas de aula, assim como na formação sistemática de novos pesquisadores — tanto "acadêmicos", como voltados para as aplicações industriais.

Enquanto que Gay-Lussac e Liebig partiram da pesquisa aplicada para, no final, renovar a pesquisa fundamental, a terceira fase, "a época dos gerentes", abria-se para uma outra dinâmica. A partir das carreiras intelectuais e empreendedoras do inglês W. H. Perkin e do alemão Adolph von Baeyer (1837-1917), ambos implicados em seqüência, mas de forma independente, na descoberta das anilinas, coloca-se em evidência o avanço definitivo da Alemanha sobre a Grã-Bretanha. Enquanto que a descoberta de Perkin,

[24] B. Bensaude-Vincent. "De la chimie appliquée à la recherche industrielle: profils du XIXe siècle", in: J.-P. Bompard & J. Perrin (orgs.). *Histoire des techniques et compréhension de l'innovation*. Paris: INRA, 1991, p. 83-9.

devida ao acaso (ou à sorte), transformou o seu autor em empresário temporário e sem sucesso, a de von Baeyer era, por seu lado, inteiramente previsível — para não dizer programada, já que seu autor recebeu desde o início o importante apoio de uma grande empresa: a BASF.

4. As origens do desenvolvimento alemão

Esse auxílio financeiro e material constituiu não somente um dos aspectos fundamentais da Segunda Revolução Industrial, da qual falaremos na parte III deste trabalho, mas também do aparecimento de um novo modelo: a promoção da pesquisa tecnológica pela indústria. O fato deste acontecimento ter ocorrido primeiro na Alemanha, e não em outro país, não foi aleatório. Sua explicação principal deve ser buscada nas profundas transformações que se deram, entre os anos 1820 e o início do século XX, nas instituições de ensino e de pesquisa alemãs, e que tiveram por pano de fundo o nascimento e a consolidação do Estado alemão, bem como a profissionalização da pesquisa sob os auspícios desse mesmo Estado e/ou das empresas do País.

Essa evolução foi bem analisada por Joseph Ben-David, que mostrou como, em meados do século XIX, praticamente todos os cientistas alemães eram professores ou estudantes que trabalhavam em equipes nos laboratórios, e como as pesquisas e os seminários levavam não somente à realização e à consolidação de certas experiências e descobertas, mas também à formação e qualificação de novos pesquisadores. A segunda fase que se abriu em seguida, girou em torno da criação e do desenvolvimento de institutos de pesquisa interdisciplinares e extra-universitários, notadamente os da Kaiser Wilhelm Gesellschaft (a atual Sociedade Max Planck) que foram bem estudados por Timothy Lenoir.

Para melhor compreender essas mudanças e suas implicações, é importante voltar no tempo, e retornar às origens das modernas universidades alemãs. Foi a criação, em 1809, da Universidade de Berlim que fez deslanchar o processo. Sua organização serviu de modelo a todas as demais universidades alemãs, especialmente no que se refere à sua autonomia científica e administrativa em relação ao poder político. Foi graças a esta autonomia que se produziu, em seu interior, a partir dos anos 1820, o amadurecimento das ciências naturais e exatas, assim como dos métodos experimentais no âmbito da pesquisa. Esta última característica se estenderia também às ciências humanas e sociais durante a segunda metade do século XIX.

Tais progressos podem ser atribuídos à organização interna das diferentes universidades e ao funcionamento do conjunto do sistema universitário alemão. Ben-David atribuiu um papel preponderante apenas ao segundo fator — uma apreciação contestável, já que o funcionamento do conjunto deve estar ligado à qualidade da organização dos diferentes componentes. De qualquer maneira, os resultados ficaram à altura das expectativas: em torno de 1850, as salas de aula e os laboratórios de numerosas universidades alemãs transformaram-se em viveiros científicos, e alguns deles, nos "centros de excelência" de suas respectivas disciplinas.

Contudo, este sistema extremamente eficaz acabou sendo vítima do seu próprio sucesso, por causa de uma excessiva afluência de estudantes e devido a uma excessiva especialização disciplinar. Esta última chegava a bloquear as iniciativas interdisciplinares exigidas pelo progresso científico e técnico, bem como pelo desenvolvimento socioeconômico. Pareceu então indispensável criar outras instituições de pesquisa e de formação. As *Technische Hochschulen,* escolas politécnicas estabelecidas fora das universidades, estavam mais próximas das preocupações socioeconômicas e mais orientadas para as aplicações das ciências do que para o seu desenvolvimento. Mesmo assim, por volta do final do século, em razão do grande número de pesquisadores altamente qualificados, foram criados outros institutos dedicados exclusivamente à pesquisa.

O surgimento deles é analisado pelo estudo de Lenoir,[25] que trata das origens da indústria farmacêutica e da pesquisa farmacológica na Alemanha, origens essas que ele atribui à fundação, por Bismarck nos anos 1880, do sistema nacional de previdência social. Essa medida provocou um crescimento rápido da infra-estrutura hospitalar, do número de médicos e da demanda por medicamentos. Tais fenômenos foram acelerados pelo aumento da população, pelos progressos da urbanização, pelas medidas sanitárias adotadas nas cidades, e pela rápida industrialização.

Todos esses fatores, junto com a queda dos preços de seus produtos, decorrente da grande depressão dos anos 1873-1896, levaram a indústria química alemã em geral, e a Hoechst em particular, a diversificar suas atividades na direção do ramo farmacêutico e, posteriormente, a associar-se às pesquisas conduzidas por Robert Koch (1843-1910) na Universidade

[25] T. Lenoir. "A magic bullet: research for profit and the growth of knowledge in Germany around 1890", *Minerva*, XXVI (1), Spring, 1988, p. 66-88.

de Berlim. Este apoio geraria mais tarde a criação e o desenvolvimento do seu Instituto de Estudos em Doenças Infecciosas. A mesma empresa apoiaria igualmente o imunologista Paul Ehrlich (1854-1915), Prêmio Nobel de Medicina em 1908, na fundação do seu Instituto para Análise e Pesquisa de Vacinas, que iria servir de modelo para a criação, pelo Estado alemão, de institutos científicos e tecnológicos centrados em objetivos bem definidos, que não tardariam a produzir interessantes resultados no plano econômico.

5. A formação do modelo norte-americano

Esse mesmo modelo foi transplantado para os Estados Unidos, mas com algumas adaptações. Em vez de institutos públicos semi-independentes dirigidos por cientistas de renome, as empresas norte-americanas criaram seus próprios laboratórios de pesquisa. Um dos casos mais conhecidos foi o da General Electric, oriundo da invenção, em 1879, da lâmpada elétrica por Thomas Alva Edison (1847-1931), e cujo instituto de pesquisas foi oficialmente inaugurado em 1900. Pode-se mencionar ainda o da American Telephone & Telegraph Company, baseado nas invenções de Alexander Graham Bell (1847-1922), cujos laboratórios de pesquisa datam de 1911. Estas estruturas foram concebidas, desde sua origem, como organizações essencialmente produtoras de inovações tecnológicas.[26]

É importante notar que, nos Estados Unidos, a profissionalização da pesquisa foi um processo bastante lento e descontínuo, pelo menos até a Guerra de Secessão. A partir daí, a situação evoluiu de modo diverso, sob os efeitos da crescente industrialização, bem como da conquista e depois ocupação e organização econômica da totalidade do território. A lentidão inicial foi devida, em parte, ao caráter hesitante do desenvolvimento do ensino técnico e científico, um dos três elementos fundamentais do processo definido por David Noble como "casamento da ciência com as profissões úteis" (*the wedding of science to the useful arts*), sendo os outros dois o aparecimento da produção fundamentada em conhecimentos científicos e o surgimento do engenheiro profissional.

Um dos precursores desta convergência foi o sábio e político Benjamin

[26] Ver a respeito o livro de L. S Reich. *The Making of American Industrial Research: Science and Business at GE and Bell, 1876-1926*. Cambridge-UK: Cambridge University Press, 1985.

Franklin (1706-1790), que, em 1748, bem antes da Independência, publicou suas *Propostas para a Educação da Juventude da Pensilvânia,* nas quais ele recomendava a criação de um ensino superior de matemática e física, assim como no domínio das artes aplicadas (topografia, navegação, arquitetura, indústria e comércio). Em 1756, ele promoveu em Filadélfia a abertura de uma escola pública para transmitir os seus ensinamentos, mas a experiência fracassou e a escola teve que fechar suas portas em 1779.

A situação tampouco era favorável no Massachusetts, onde a Universidade de Harvard chegou a receber uma doação anual de mil dólares (soma importante na época) para desenvolver o ensino da matemática e da física. O primeiro titular da cadeira respectiva foi o físico James Bigelow, que, anos mais tarde, seria um dos fundadores do famoso MIT (Massachusetts Institute of Technology). Apesar de diversos esforços, nenhum Estado da nova nação dispunha na época de mais de dois profissionais com o título ou as qualificações de engenheiro. Essa escassez de pessoal técnico obrigou as autoridades norte-americanas a trazer da Europa os profissionais encarregados de projetar e supervisionar a construção dos primeiros canais. Foi a demanda induzida por esses grandes trabalhos e, mais tarde, pela construção das estradas de ferro, que fez surgir as primeiras escolas de engenharia civil, a partir da Rensselaer Polytechnic, fundada em 1823.

A qualidade do ensino não era contestável, mas os progressos quantitativos permaneciam muito lentos, tornando necessárias campanhas públicas, como a efetuada, por exemplo, pela revista *Scientific American*, criada em 1845. O verdadeiro aumento dos contingentes de técnicos e cientistas data da Guerra Civil, graças à intervenção do Governo Federal que, em 1862, promulgou o famoso *Morrill Act*, lei que cedia terras públicas da União a todos os Estados dispostos a nelas estabelecer escolas de engenharia civil ou agronômica. Os resultados dessa lei foram impressionantes: entre 1870 e 1880, o número de escolas desse tipo passou de seis a 85, enquanto que o número anual de diplomados passou de cem a 4300 entre 1870 e 1914.

Mas, as maiores mudanças foram de ordem qualitativa, com a introdução, a partir da Alemanha, dos cursos de pós-graduação. Bem antes do final do século XIX, os Estados Unidos já contavam com vários cientistas de renome internacional, como os físicos J. Willard Gibbs (1839-1903) e A. A. Michelson (1852-1931).

Da mesma maneira que as empresas norte-americanas, os engenheiros

e técnicos daquele país começaram a se rivalizar com os melhores do mundo, e não tardaram a ser empregados pelos industriais para conceber e desenvolver novos produtos e novos processos de produção, para analisar e testar materiais, e para racionalizar e reorganizar as empresas. Esses engenheiros e técnicos eram muito bem qualificados tanto para a produção como para a pesquisa nas indústrias de ponta da época: as de materiais e equipamentos elétricos, de diversos processos e produtos químicos, da siderurgia e da metalurgia pesada.

A tecnologia das indústrias da Segunda Revolução Industrial, contrariamente à da Primeira, já estava então, em todos os lugares, fortemente baseada nas ciências. Seu desenvolvimento dependia diretamente da pesquisa, o que levou as empresas a criarem seus próprios laboratórios. Essa criação, porém, tornou-se indispensável não somente por causa da crescente complexidade das inovações tecnológicas, mas também — e sobretudo — devido à forte concorrência vigente nos diversos mercados. Esta concorrência, conjugada à legislação antitruste adotada pelos Estados Unidos no final do século XIX, contribuiu para consolidar os oligopólios já existentes e para tornar mais difícil a concentração industrial nos diferentes setores de atividade.

Não poderíamos terminar este estudo sobre a situação dos Estados Unidos sem evocar o ensino e a pesquisa agronômicas, que se tornaram a partir do *Morrill Act*, os mais avançados do mundo. A criação dos *land grant colleges* em 1862 coincidiu com a do Departamento de Agricultura que, por sua vez, fundou numerosos *bureaux* (ou centros de pesquisas) agronômicos dedicados ao acompanhamento e à resolução de problemas técnicos e econômicos específicos, e que funcionam em conjunto com as escolas de agronomia. Em 1887, o *Morrill Act* foi reforçado e completado pelo *Hatch Act*, que criou uma rede de estações de pesquisas agronômicas em todos os Estados para os principais produtos e atividades da agricultura e da criação de animais.

A partir do final do século XIX, essas medidas transformaram o Departamento de Agricultura na principal instituição de pesquisa científica e tecnológica dos Estados Unidos. De acordo com Hunter Dupree,[27] sua organização serviu, além disso, de modelo para outros domínios de explo-

[27] Ver A. H. Dupree. *Science and the Federal Government: a History of Policies and Activities*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1986.

ração dos recursos naturais, especialmente o dos minérios. A eficácia deste apoio público às atividades privadas da economia norte-americana pode ser percebida através do aumento de seus níveis de produtividade, que figuram inegavelmente entre os mais elevados do mundo.

Em todos os países mais avançados, a progressiva incorporação da pesquisa no ensino e, sobretudo, no sistema produtivo, anunciava o aparecimento de uma nova era, tanto nas ciências como nas técnicas, e também em suas inter-relações cada vez mais estreitas. Ao nível da tecnologia, ela acabou desembocando na Segunda Revolução Industrial cuja natureza e desenvolvimento são analisados a seguir, na terceira, e última parte deste trabalho.

III — Natureza e desenvolvimento da Segunda Revolução Industrial

Nas duas partes anteriores deste trabalho referi-me várias vezes à Segunda Revolução Industrial. Agora chegou o momento de aprofundar o tema, e de mostrar o que foi esta Revolução. O estabelecimento de seus limites cronológicos se torna uma tarefa fácil quando a análise já está terminada. Podemos, contudo, indicar provisoriamente, que ela ocorreu durante cinco ou seis décadas, entre 1870/1880 e 1920/1930, de acordo com os países e os setores analisados. Esse período inclui tanto a "Grande Depressão" dos países anglo-saxônicos como a *Belle Époque* que a seguiu, e ainda a Primeira Guerra Mundial, que se revelaria também muito importante para testar algumas das novas técnicas. Embora tivesse acabado logo após a Guerra nos países economicamente mais avançados, a Segunda Revolução Industrial ainda está em curso em muitos outros e, em alguns países, ela nem começou ainda.

Para caracterizar conceitualmente a Segunda Revolução Industrial, assim como todas as demais, pode ser útil partir de um esquema simplificado da produção manufatureira, no qual temos, de um lado, os insumos materiais, do outro os produtos acabados e, entre ambos os processos de transformação. Cada um destes três elementos pode tomar as formas mais diversas, mas o primeiro se subdivide ordinariamente em matérias-primas e fontes de energia, enquanto que os produtos acabados podem incluir algumas vezes os produtos intermediários — ou seja, insumos para uma produção ulterior. De qualquer maneira, esta divisão do processo produtivo permite classificar as inovações tecnológicas fundamentais de cada

revolução industrial em quatro categorias que são: os novos materiais, as novas fontes de energia, os novos processos de transformação e os novos produtos. Podemos enquadrar as inovações tecnológicas de qualquer revolução industrial dentro de uma ou de várias destas quatro categorias.

Começando pelos novos materiais, podemos notar que, se praticamente inexistiram na Primeira Revolução Industrial — com exceção talvez do coque metalúrgico — sem dúvida, constituíram um dos principais elementos da Segunda. Com efeito, não é possível deixar de falar do papel da borracha (depois da "descoberta" da vulcanização), dos metais não-ferrosos (especialmente do alumínio) e sobretudo do aço, que se tornou, em meados do século XIX, uma das principais matérias-primas da moderna civilização industrial, indispensável para a fabricação da maior parte dos bens de capital, assim como de vários bens de consumo duráveis. Sem o aumento de sua utilização, a mecanização dos processos produtivos não teria podido evoluir tanto e tão rapidamente. Como bem lembrou David Landes,[28] a substituição do ferro pelo aço e suas ligas, assim como o aumento do consumo total e *per capita* deste material, foi provavelmente uma das características mais visíveis e mais importantes da segunda metade do século XIX e dos primeiros decênios do século XX. E foi justamente por causa deste fato que Mowery e Rosenberg[29] situam o início da Segunda Revolução Industrial já no começo da década de 1860.

1. O papel fundamental do aço

As principais vantagens do aço, em relação aos outros materiais utilizados até então, decorrem de suas propriedades físicas de durabilidade, resistência e plasticidade — propriedades que também caracterizam, mas em grau menor, o ferro e suas ligas, que, por esta razão, vinham sendo empregados na produção de máquinas desde a Primeira Revolução Industrial. O principal obstáculo à utilização do aço em larga escala residia, nessa época, no seu custo muito elevado. O aço, com efeito, já era conhecido e utilizado havia muito tempo, mas sempre em pequenas quantidades — como, por exemplo, na fabricação de armas ou de

[28] D. Landes. Op. cit., p. 249-50.

[29] Ver: D. C. Mowery & N. Rosenberg. *Technology and the Pursuit of Economic Growth*. Cambridge-UK: Cambridge University Press, 1989.

aparelhos de precisão. Mas, mesmo na época da Primeira Revolução Industrial na Europa Ocidental e nos Estados Unidos, ele continuava sendo um material muito caro, cuja tonelada custava várias dezenas de libras esterlinas (razão pela qual era usualmente transacionado em quilos). Ou seja, ele não poderia ser empregado em grandes volumes sem uma prévia redução do seu custo de produção. Esforços sistemáticos neste sentido começaram a dar resultados a partir da segunda metade do século XIX.

A primeira tentativa bem-sucedida foi a do engenheiro inglês Henry Bessemer (1813-1898), o qual, em 1856, patenteou seu processo de fabricação do aço baseado na injeção de oxigênio no metal em fusão. Graças à sua invenção, o preço de venda do aço pôde baixar para somente sete libras por tonelada, um custo comparável e competitivo com o do ferro que, na época, situava-se em torno de quatro libras por tonelada. É interessante observar que, a partir de 1851, o metalúrgico norte-americano William Kelly encontrava-se no mesmo caminho, fazendo experiências muito similares, e com os mesmos resultados que Bessemer, e que só não se tornou o co-inventor do processo porque o inglês o havia patenteado antes em seu nome.[30] Por outro lado, convém lembrar que, apesar de seu potencial e da nacionalidade de seu inventor oficial, o processo Bessemer não foi adotado de imediato na Grã-Bretanha, contrariamente ao que aconteceu nos Estados Unidos e na Alemanha. Isto não foi devido, pelo menos no início, a razões econômicas, mas antes a fatores técnicos. O processo Bessemer só dá bons resultados com minério de ferro sem fósforo (como a hematita), que está longe de ser abundante no território britânico.[31]

A mesma observação é válida para o processo Siemens-Martin, desenvolvido menos de dez anos mais tarde (a patente definitiva data de 1864). Apesar ter sido, como o precedente, patenteado pela primeira vez na Inglaterra, sua invenção foi, em parte, de origem alemã (resultante dos estudos realizados pelos irmãos Frederick e William Siemens), e em parte de origem francesa (com o forno e a adição de sucata para a descarbonização do metal desenvolvidos por Pierre Martin). A partir dos anos 1870, este

[30] H. R. Schubert. "The steel industry", in: C. Singer et al. (orgs.). *A History of Technology*, Vol. V ("The late nineteenth century, c. 1850 to c. 1900"). Oxford: Oxford University Press, 1958, p. 58 e ss.

[31] D. Landes. Op. cit., p. 256.

processo começou a ser adotado em grande escala em vários países, exceto na Grã-Bretanha, que vinha até então dominando a produção mundial de aço. A partir daí perdeu sua posição hegemônica a favor dos Estados Unidos em termos absolutos, e da Alemanha no que concerne à produtividade e à qualidade.

Essas mudanças nas posições relativas dos três países foram devidas, em boa parte, ao aparecimento de um terceiro processo de fabricação de aço a baixo custo, descoberto em 1878/79, na Inglaterra, por Sidney Gilchrist-Thomas (1850-1885). Este tinha conseguido obter um aço de boa qualidade adicionando calcário ao ferro fundido, de modo a absorver e depois eliminar o ácido fosfórico. Esse processo, imediatamente adotado na Alemanha, pode ser considerado como um dos principais fatores do progresso da siderurgia naquele país entre os anos 1880 e o início da Primeira Guerra Mundial, período no qual a produção alemã se tornou a maior da Europa, apenas suplantada pela norte-americana no plano mundial.

Mas, o mais importante nisso tudo é que os três novos processos de fabricação do aço permitiram, em algumas décadas, fazer baixar de 80 a 90% seus custos de produção. Isso teve grandes repercussões, não somente com relação ao aumento da utilização deste material fundamental, mas também no que se refere à demanda dos minérios de ferro e de carvão. Entre 1870 e 1913, a produção de aço conjunta da Grã-Bretanha, da Alemanha, da Bélgica e da França aumentou de 385 mil para 32 milhões de toneladas.

Comparando a evolução da indústria siderúrgica na Alemanha, nos Estados Unidos e na Grã-Bretanha, Schumpeter[32] mostra que o primeiro destes países tinha também tirado vantagem da anexação da Alsácia e da Lorena, onde já havia fábricas de aço assim como minas de ferro e de carvão. Mas, é preciso lembrar que, mesmo se esta guerra não tivesse existido, a Alemanha teria podido tomar a dianteira na siderurgia, graças ao processo Gilchrist-Thomas e à competência de seus empresários. A casa Krupp, por exemplo, criada nos anos 1840, produzia canhões de aço desde 1856, e foi pioneira na utilização do processo Bessemer em 1861. Uma outra grande empresa, a fábrica de locomotivas Borsig, adotou o processo Siemens-Martin no mesmo ano em que ele foi patenteado. Contrariamente

[32] J. A. Schumpeter. Op. cit., p. 351-448.

ao que ocorria na Grã-Bretanha, mas da mesma forma que nos Estados Unidos, as indústrias siderúrgicas alemãs eram geralmente de grande porte e verticalmente integradas, além de terem começado, desde essa época, a organizar-se em cartéis para melhor comercializarem sua produção.

A indústria do aço também se desenvolveu muito cedo nos Estados Unidos, país bem dotado de recursos minerais de excelente qualidade, e cuja indústria em geral teve um grande desenvolvimento a partir da Guerra de Secessão (1861-1866). Como já mostramos, os novos processos de fabricação do aço haviam sido descobertos aí de maneira independente. Mas, além de seu *know-how* tecnológico, os produtores norte-americanos tinham ainda outras vantagens — como o tamanho, a integração vertical das atividades, a organização em *trusts*, e também a descoberta de ricas jazidas de ferro na região dos Grandes Lagos. Isto resultaria numa melhoria importante da qualidade do aço e numa baixa de 60% dos seus preços entre 1870 e 1890. Tal como na Alemanha, todas estas circunstâncias favoráveis permitiram o desenvolvimento, não somente da siderurgia, mas também de uma indústria mecânica muito produtiva.

2. *Equipamentos e materiais elétricos*

Um outro ramo industrial no qual a Alemanha e os Estados Unidos rivalizavam era o dos equipamentos e dos materiais elétricos, cujo mercado mundial foi rapidamente dividido entre quatro empresas: duas delas alemãs, a AEG e a Siemens, e duas norte-americanas, a General Electric e a Westinghouse. Muito mais do que o aço, a energia elétrica constituiu, sem dúvida, um dos símbolos fundamentais da Segunda Revolução Industrial. Na época, a eletricidade já não era propriamente uma descoberta, como a dos novos processos de produção siderúrgica, mas constituía sem dúvida uma inovação no sentido schumpeteriano do termo. Tratava-se de uma inovação tecnológica, cujas origens imediatas remontavam às experiências de Michael Faraday no início do século XIX, mas cujas raízes científicas eram muito mais antigas. Entretanto, no começo do século XX, sua difusão em nível mundial estava apenas começando. A eletricidade deu origem a partir de então a novos produtos, a novos processos de produção, a novos ramos industriais e a novas práticas econômicas e sociais.

A difusão do uso da energia elétrica provocou mudanças na localização de diversas atividades produtivas, na capacidade de produção de numero-

sos ramos de atividades, de regiões e de países, bem como nos fluxos das trocas internacionais. Essa difusão, como a adoção que a precedeu, não foi imediata nem tranqüila: foi-lhe necessário enfrentar e vencer a concorrência das fontes de energia já existentes. A vitória final da eletricidade só pôde ser obtida pela redução de seus custos de produção e de distribuição, com esta redução dependendo ela mesma da resolução de uma série de problemas técnicos ligados, em primeira instância, à geração térmica e hidroelétrica e, em seguida, à transmissão desta forma de energia, sobretudo a longas distâncias, um problema que até hoje permanece complicado, e, enfim, à sua distribuição aos consumidores, que envolve a questão das tarifas segundo as diversas modalidades de consumo energético.

A expansão da capacidade de produção de eletricidade foi um dos motores do crescimento econômico dos Estados Unidos durante os primeiros decênios do século XX. Ela teve início em 1895 com a utilização para fins energéticos das cataratas do Niágara. Seu papel no desenvolvimento atual da economia norte-americana pode ser comparado ao das estradas de ferro no século XIX. A utilização da energia elétrica permitiu, entre outras coisas, o aparecimento e a expansão das indústrias do cobre e do alumínio, e as de celulose e papel. Estes foram os seus efeitos mais visíveis e mais imediatos, mas, tão ou mais importantes foram as conseqüências indiretas da adoção e da difusão da eletricidade no conjunto da economia e da sociedade norte-americanas. Estas últimas conseqüências materializaram-se tão profundamente nas cidades como na indústria, onde sua penetração, muito lenta no início, tornou-se em seguida muito rápida e também irreversível.

A difusão da eletricidade nas cidades foi extremamente veloz a partir do início do século XX, tanto na iluminação pública e privada como nos transportes públicos, através dos bondes e mais tarde do metrô e das estradas de ferro suburbanas. Os bondes elétricos começaram a circular nos Estados Unidos em 1887 e, vinte anos mais tarde, já havia naquele país 35 mil quilômetros de linhas. Isto contribuiu, de um lado, para descentralizar as cidades norte-americanas, e do outro, para criar uma oportunidade atraente para o investimento de capitais excedentes. Fenômenos similares ocorreram mais ou menos na mesma época na Alemanha, que conseguiu criar uma indústria de equipamentos elétricos muito desenvolvida, baseada não somente numa tradição técnica bem estabelecida (a empresa Siemens, por exemplo, já existia desde 1848), mas também, e talvez sobretudo, em

sua associação com os bancos, o que facilitou consideravelmente os investimentos produtivos, inclusive na pesquisa científica e tecnológica. A exemplo do que se dava nas indústrias química e farmacêutica (cf. a segunda parte do presente trabalho), essa pesquisa foi solidamente estabelecida neste país, praticamente desde o início.

Todos estes dados históricos nos permitem formular algumas observações mais gerais sobre as relações, na época, entre os progressos da ciência e da tecnologia, e entre estes últimos e o desenvolvimento econômico e social. A relação entre progresso científico e progresso tecnológico ainda não se tinha tornado direta, e muito menos imediata e instantânea. A transformação das descobertas científicas em invenções e inovações tecnológicas continuava a ser um processo muito lento e complexo, exigindo, às vezes, a criação de novas disciplinas e de novos ramos técnicos para garantir a obtenção dos efeitos desejados. Este foi o caso, por exemplo, da engenharia química, que permitiu acelerar a transição (ou tradução) das descobertas e invenções em inovações e em produtos comercializáveis.

Na segunda metade do século XIX, a exploração e a expansão das fronteiras tecnológicas requeriam apenas conhecimentos científicos bastante rudimentares — como foi o caso dos três novos processos de fabricação do aço, que já citamos anteriormente. Mas, estes processos, por sua vez, conduziram a um aprofundamento dos conhecimentos e dos estudos físicos e químicos relativos à fusão e à gaseificação dos metais, e a metalurgia científica apareceria no fim do século XIX através da "ciência dos materiais" e da padronização dos testes e das medidas.[33] Por outro lado, é importante observar que, mesmo sendo bastante rudimentares sob o ponto de vista estritamente científico, os novos conhecimentos subjacentes ao progresso técnico da época foram decisivos, não somente para a própria existência deste, como — e sobretudo — para o desenvolvimento econômico que dele resultou. E isto se aplica tanto ao nível macroeconômico ou setorial, como ao microeconômico das empresas. Estas perceberam muito cedo as vantagens, em termos de competitividade, que lhes trazia a apropriação das novas tecnologias com base científica, cujos prin-

[33] Ver a esse respeito D. F. Noble. *America by Design: Science, Technology and the Rise of Corporate Capitalism*. Oxford: Oxford University Press, 1977 (especialmente o capítulo 5).

cípios podiam não ser novos sob o ponto de vista teórico, mas certamente o eram quanto às suas aplicações.

3. *A indústria automobilística e o fordismo*

Passemos agora dos novos materiais e das novas fontes de energia para os novos processos de produção e os novos produtos da Segunda Revolução Industrial. Para tanto, podemos centrar-nos na análise da gênese e do desenvolvimento inicial da indústria automobilística, tida por muitos como a quintessência dessa revolução. Contrariamente a muitas idéias recebidas, a principal inovação desta indústria residiu menos em seu produto final (os veículos automotores) do que nos seus processos de produção em série, que se tornaram conhecidos pelo nome de *fordismo*. Ao mesmo tempo, cumpre assinalar que essa inovação teve inicial e fundamentalmente um caráter comercial, e não industrial, e que foi somente mais tarde que ela começou a incidir no processo de trabalho, do qual ela só vem sendo eliminada atualmente, mas de maneira muito mais lenta e difusa do que geralmente se pensa.

Como bem observou Schumpeter,[34] a indústria automobilística constituiu, desde o início, um bom exemplo de uma solução puramente empresarial para uma melhor utilização, não somente dos recursos disponíveis, mas também da tecnologia existente. Esta tecnologia, no início do século XX, compreendia: (1) o motor a combustão interna, desenvolvido simultâneamente na França por Étienne Lenoir (1822-1900) e na Alemanha por N. A. Otto (1831-1892); (2) o princípio das peças intercambiáveis, adotado pela indústria mecânica dos Estados Unidos desde o início do século XIX, e aperfeiçoado nas indústrias pioneiras das máquinas de costura, das máquinas agrícolas e, sobretudo, de bicicletas;[35] (3) as novas possibilidades de transformação industrial devidas, de um lado, à baixa do preço do aço, e do outro, ao aparecimento de máquinas-ferramentas cada vez mais aperfeiçoadas, permitindo a fabricação em série de peças de precisão.

A contribuição específica fundamental da indústria automobilística — e

[34] J. A. Schumpeter. Op. cit., p. 753-94.

[35] Ver a esse respeito D. A. Hounshell, *From the American System to Mass Production, 1800-1932*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 1984.

mais particularmente de Henry Ford (1863-1947) — foi a linha de montagem, que permitiu, pela primeira vez, a fabricação em massa de produtos que incorporavam vários componentes, de bens de consumo importantes e duráveis, cujos preços passaram a estar ao alcance de numerosos consumidores. Este processo de produção, altamente mecanizado e muito mais rápido, porém mais monótono e mais intenso que os precedentes (muito bem representado no filme *Tempos Modernos* de Charles Chaplin), tinha sido inspirado nas linhas de "desmonte" dos grandes abatedouros-frigoríficos de Chicago. Mas, o aspecto mais importante dessa inovação residia nas suas conseqüências ao nível das relações de trabalho — pelo aumento substancial dos salários para reduzir o *turnover* dos operários — e das relações de mercado e de concorrência — através da baixa também substancial dos preços de venda do produto.

A revolução fordista da produção e do consumo de massa originou-se da conjugação de uma intensa mecanização da produção industrial, acoplada à linha de montagem, e de um aumento real dos salários pagos. Ela funcionou muito bem enquanto as tendências do consumo acompanharam as da produção — ou seja, até a segunda metade dos anos 1920. Mas, convêm de início, examinar mais de perto a nova utilização econômica dos recursos disponíveis.

Esta utilização se baseava, em primeiro lugar, numa nova maneira de financiar a produção, pela compra a crédito da maior parte dos insumos e pela venda à vista dos produtos acabados. A produção automobilística consistia na realidade (e ainda consiste hoje em boa parte) numa montagem de produtos intermediários (peças, componentes, acessórios) comprados com prazos de pagamento de sessenta a noventa dias, e pagos pela venda à vista dos produtos acabados. Inicialmente, tratava-se de uma venda direta aos consumidores finais, mas, com o passar do tempo, ela começou a ser feita por intermédio de comerciantes especializados. A grande vantagem dos primeiros fabricantes de automóveis, como Henry Ford em particular, residia no fato de que não tinham necessidade de pedir dinheiro emprestado aos bancos; era-lhes suficiente obter crédito junto a seus fornecedores.

Nem Ford, nem os norte-americanos em geral, foram os primeiros a fabricar automóveis. Estes já eram produzidos fora dos Estados Unidos desde os anos 1880, particularmente na França e na Alemanha. Neste último país, podemos mencionar os nomes de pioneiros como G. Daimler (1834-1900) e K. Benz (1844-1929), que foram os responsáveis pela origem

dos carros da marca Mercedes. A indústria automobilística norte-americana só começou suas atividades no decênio seguinte, através da iniciativa de empresários como R. E. Olds (1893) e A. Winton (1894), que formaram uma série de firmas individuais. Ao final do século XIX, já havia 8,6 mil automóveis registrados nos Estados Unidos, cuja produção em massa (relativamente aos padrões da época) começou nas oficinas de Olds, em Detroit, com a fabricação de 4 mil veículos por ano. Ford só lançou sua produção três anos mais tarde, com um capital de 100 mil dólares. A mortalidade destas empresas pioneiras da indústria automobilística norte-americana foi bastante elevada. Além dos automóveis, elas também fabricavam ônibus e caminhões. Em 1907, mais de 8,4 mil foram fabricados e vendidos nos Estados Unidos — número quase equivalente ao parque total de veículos daquele país no final do século XIX, incluindo também os veículos importados. O valor total desta produção atingia 5,5 milhões de dólares, com um lucro estimado de 1 milhão de dólares, sendo que o preço médio de cada veículo era de 655 dólares.

O ano seguinte foi muito importante: de um lado, porque marcou o início da produção em massa por Ford, e do outro, devido à fundação da General Motors, que iria tornar-se sua principal concorrente ao permitir, em 1910, a entrada dos banqueiros num ramo industrial muito lucrativo que até então lhes havia escapado. Com a intensificação da concorrência, os preços e os lucros da indústria automobilística norte-americana começaram a diminuir, e várias empresas tiveram que fechar suas portas definitivamente. Para as maiores, entretanto, a baixa dos preços e dos lucros unitários foi amplamente compensada pelo crescimento do volume total dos lucros e pelo aumento constante da produtividade do trabalho, que se elevou como nunca entre 1909 e 1914, quando os modelos se tornaram mais estáveis, o que facilitou a padronização das peças e dos componentes, bem como a redução dos custos de produção.

Foi a partir dessa época — mais precisamente dos anos 1913/1914 — que apareceu o fordismo propriamente dito. Em 1914, havia nada menos que 338 fabricantes de automóveis nos Estados Unidos, produzindo um número total de 573 mil veículos, dos quais a metade vinha da Ford. Em seguida, ela aumentaria sua produção, graças à fabricação do famoso modelo T, atingindo 300 mil unidades em 1914, e mais de 2 milhões em 1923.

Numa época como a da Primeira Guerra Mundial, em que todos os preços estavam subindo, os da Ford baixaram em termos reais, o que fez

aumentar ainda mais as suas vendas. Sua linha de montagem foi rapidamente imitada por seus concorrentes, assim como pelos outros fabricantes de outros bens de consumo duráveis. Paralelamente, os salários pagos aos operários da Ford, como também os das outras empresas, elevaram os rendimentos da força-de-trabalho, sobretudo na região de Detroit. Todos estes fatos contribuíram para estabelecer nos Estados Unidos o que David Hounshell[36] chamou de *ethos* da produção e do consumo de massa, uma ideologia abalada pela crise de 1929 e pela depressão dos anos 1930, mas que conseguiria manter-se viva por muito tempo após a Segunda Guerra Mundial.

Na verdade, a importância econômica da indústria automobilística nos Estados Unidos tornou-se evidente antes mesmo da Primeira Guerra Mundial. Seu volume de negócios já atingia anualmente a cifra de 211 milhões de dólares, correspondente a um preço médio de 367 dólares por veículo. Seus efeitos multiplicadores eram (e ainda continuam sendo) bastante consideráveis, tanto a montante como a jusante do ramo. Centenas de empresas fornecedoras de peças, componentes e acessórios foram surgindo. O crescimento da produção aumentou a demanda não somente do aço, da borracha e dos produtos petrolíferos, mas propiciou também a construção de estradas, de garagens e de habitações suburbanas e rurais. Durante os anos vinte, a indústria automobilística tornou-se o setor líder da economia norte-americana, e foi a partir daí que ela se espalhou rapidamente para o resto do mundo (inclusive ao Brasil, onde Ford tinha estabelecido uma linha de montagem desde 1919, seguido, alguns anos mais tarde, pela General Motors).

Nas outras economias capitalistas avançadas, o desenvolvimento da indústria automobilística não foi tão rápido. Na Alemanha, por exemplo, ela só começou nos anos trinta, com o aparecimento do nazismo e da Volkswagen, ambos tendo evoluído juntos até 1945, e mesmo depois.[37] Mas, em todos os países, a expansão da indústria automobilística conduziu a uma forte concentração da oferta no âmbito das montadoras, cujos efetivos e identidades às vésperas da Segunda Guerra Mundial não eram muito

---

[36] D. H. Hounshell. Op. cit., p. 305 e ss.

[37] Ver a respeito o importante livro de S. Reich. *The Fruits of Fascism: Postwar Prosperity in Historical Perspective*. Ithaca: Cornell University Press, 1990 (particularmente seu capítulo 5).

diferentes dos de hoje. Essas grandes empresas dominavam não somente os mercados de produtos acabados (como oligopólios), mas também os de seus insumos (como oligopsônios), assim como o mercado de trabalho que elas conseguiram adaptar às suas necessidades através da introdução dos métodos ditos de organização científica do trabalho — como o taylorismo — já bem difundidos nos Estados Unidos desde o final do século XIX.

Um outro traço inovador da indústria automobilística norte-americana vinculava-se à clientela para a qual era destinada a maior parte de sua produção: consumidores da classe média, começando por seus próprios operários e funcionários especializados. Inicialmente, nos Estados Unidos, e mais tarde em outras economias capitalistas avançadas, os bens de consumo duráveis, como os automóveis, cessaram de ser produtos de luxo para se tornarem mercadorias acessíveis a um número crescente de camadas da população. Entretanto, como todas as revoluções de mercado, a do fordismo terminou por encontrar seus limites, antes mesmo do início da grande crise do capitalismo contemporâneo. Já nos anos vinte, após ter vendido 15 milhões de veículos, Ford teve que abandonar seu modelo T e reorientar suas estratégias de comercialização e de produção.

Esta tinha se tornado superior à demanda efetiva (ou solvável). O problema foi resolvido de maneira satisfatória, não pela Ford, mas por sua principal concorrente, a General Motors, graças à adoção e introdução das modernas técnicas de *marketing* e de publicidade, ligadas ao princípio da obsolescência programada e da mudança anual dos modelos, à multiplicação destes e à diferenciação dos preços. Graças a estas armas do arsenal das estratégias oligopolistas, que Ford também teve que adotar, a General Motors pôde assumir, definitivamente, a liderança da indústria automobilística norte-americana a partir dos anos trinta.

4. A pesquisa nas empresas

Após estas constatações, podemos finalmente voltar-nos para os novos processos e os novos produtos criados a partir do aparecimento da eletri-

[38] Ver a esse respeito a importante comunicação de F. Caron. "Histoire économique et histoire de l'éléctricite: essai de définiton d'une problématique", in: *L'électricité dans l'histoire. Problèmes et méthodes*. Actes du 1er Colloque de l'Association pour l'Histoire de l'Électricité en France (Paris, outubro de 1983). Paris: AHEF/ PUF, 1985, p. 37-50

cidade, a nova fonte de energia específica da Segunda Revolução Industrial.[36] A adoção desta inovação se fez, em primeiro lugar, por intermédio das sucessivas gerações de dínamos, cujo primeiro espécime devido ao eletricista belga Z. T. Gramme (1826-1901), foi muito bem acolhido tanto na Grã-Bretanha como nos Estados Unidos, onde não tardou a ser copiado e aperfeiçoado.[39] A segunda destas máquinas foi o dínamo bipolar de Thomas Edison (1847-1931), criado e desenvolvido para assegurar o uso de sua principal invenção: a lâmpada elétrica incandescente (1879). O dínamo de Edison foi aperfeiçoado por John Hopkinson (1849-1898), na Inglaterra, e pelo engenheiro suíço C. E. L. Brown (1863-1929) que, mais tarde, fundaria a Brown Boveri, grande empresa multinacional que ainda subsiste, cujo alternador de corrente foi decisivo para permitir a transmissão da energia elétrica a longas distâncias.

A penetração da eletricidade e a difusão de sua utilização na indústria norte-americana levaram meio século, de 1880 a 1930.[40] A progressiva adoção desta fonte de energia, no lugar da energia hidráulica e da máquina a vapor, contribuíram, inicialmente, para reduzir a quantidade de energia necessária à movimentação das máquinas e equipamentos existentes, e, depois, para dar origem a novas máquinas mais eficazes e mais especializadas, com vistas a obter volumes crescentes de produção por unidades de trabalho, de capital e de matérias-primas. Ela se traduziu não somente numa substituição de fontes de energia, mas também, e principalmente, numa substituição do uso direto das fontes primárias pela utilização de formas de energia previamente transformadas. Isto contribuiu para aumentar a eficiência térmica e mecânica dos equipamentos utilizados na produção, e também para fazer baixar os seus custos unitários.

Tais mudanças tornaram-se possíveis em virtude da descentralização espacial da oferta de energia propiciada pelos motores elétricos. No caso da energia hidráulica e daquela fornecida pelas máquinas a vapor, a transmissão de energia para todos os equipamentos produtivos se faz por um sistema de correias e polias ligadas ao gerador, enquanto que no dos

[39] Sobre isso, ver o clássico trabalho de J. E. Brittain. "The International diffusion of electrical power technology, 1870-1920", *Journal of Economic History, 34*(1):108-21, março, 1974.

[40] Um bom relato a esse respeito é o de W. D. Devine Jr. "From shafts to wires: historical perspectives on electrification", *Journal of Economic History, 43*(2):347-72, junho, 1983.

motores elétricos, esta transmissão pode se fazer diretamente, seja a um conjunto de máquinas, seja (o que se tornaria progressivamente mais freqüente) para cada máquina individualmente. O aumento da flexibilidade na utilização produtiva da energia tem como contrapartida a baixa dos custos de sua aquisição, assim como a redução do trabalho humano que lhe é associado.

O principal produtor desses motores, nos Estados Unidos, foi a General Electric, resultante da fusão, em 1891, da empresa criada por Edison com a Thomson-Houston. Esta grande companhia, que já contava com mais de 10 mil empregados, passou, em meados dos anos 1890, por uma grave crise financeira, da qual só pôde sair graças à sua produção de turbinas e de motores elétricos para o setor industrial. Com a considerável melhora de seus negócios, no final do século XIX, a General Electric conseguiu adquirir o controle de numerosas empresas menores, uma das quais era a filial norte-americana da Siemens. Foi também nessa época que nasceu seu crescente interesse pela pesquisa científica e tecnológica.[41]

Se bem que este interesse não tivesse constituído uma novidade numa empresa fundada por um inventor, ele estava longe de representar um simples retorno ao passado, ao laboratório de Menlo Park, no qual Edison tinha chegado a várias de suas invenções. A criação do laboratório de pesquisas industriais pela General Electric constituiu, fundamentalmente, uma medida defensiva contra as ameaças de concorrência estrangeira (especialmente a alemã) no mercado norte-americano, em associação com sua grande rival, que era na época (e continua sendo até hoje) a Westinghouse.

Este laboratório, formalmente criado em 1900, recebeu como primeira missão reforçar a posição competitiva da empresa no mercado das lâmpadas elétricas, através da melhora da qualidade dos produtos da General Electric, qualidade que dependia fundamentalmente do filamento da lâmpada. No final do século XIX, os diretores e engenheiros da Companhia estavam muito inquietos com respeito a duas inovações alemãs: a incandescência ao ar livre, e não mais no vácuo, desenvolvida por Walter Nernst, professor de química na Universidade de Göttingen, e cuja eficiência era 50% superior à do filamento de carbono, então utilizado pela GE, e da qual ele havia vendido a patente para a AEG da Alemanha e a

[41] Os dados deste parágrafo e dos seguintes foram extraídos dos capítulos 3 e 4 de L. S. Reich. Op. cit.

Westinghouse dos Estados Unidos; e o filamento de ósmio produzido por C. A. Welsbach (1858-1929), cuja eficácia era 60% superior à do carbono, mas tinha a desvantagem de depender de um material raro, caro e pouco resistente.

Várias pesquisas nestas mesmas direções, diretamente financiadas pela Westinghouse, estavam também em curso nos Estados Unidos, e foram estas que terminaram por convencer os dirigentes da General Electric a criar um laboratório de pesquisa em sua empresa, e a convidarem para dirigi-lo o químico Willis Whitney, professor do Massachusetts Institute of Technology e doutor pela Universidade de Leipzig na Alemanha. Este laboratório, que contava com 19 pesquisadores e 26 auxiliares no início de 1903, teve como primeiros resultados o desenvolvimento da *gem lamp*, lâmpada com filamento de carbono metálico, colocada à venda pela GE a partir de 1905, e cuja eficácia era de 20 a 50% superior à das lâmpadas de filamentos comuns.

Este avanço, no entanto, foi, apesar de tudo, rapidamente ultrapassado por outros progressos realizados na Alemanha, onde a energia elétrica era mais cara do que nos Estados Unidos, o que levava a promover a realização de contínuas pesquisas, visando inovações para aperfeiçoar a sua utilização. Uma dessas inovações foi a lâmpada com filamento de tântalo, desenvolvida pela Siemens em 1903, cuja patente teve que ser adquirida pela General Electric pelo preço de 25 mil dólares (uma soma bastante considerável para a época), junto com o compromisso de pagar *royalties* sobre eventuais vendas da mesma nos Estados Unidos. Esta compra e todas as outras que, mais tarde, tornaram-se necessárias à companhia, chegaram a várias centenas de milhares de dólares e acabaram por ameaçar a sobrevivência do laboratório, que tinha sido criado justamente para evitar essas contingências.

Felizmente para a General Electric, a partir de 1906, seu laboratório de pesquisas industriais pôde aproveitar a cooperação de William Coolidge, um antigo colega de Whitney no MIT, e como este doutor pela Universidade de Leipzig. Foi ele que descobriu, alguns anos mais tarde, o filamento de tungstênio utilizado até hoje nas lâmpadas da GE, trazendo assim uma vantagem definitiva para a companhia, a partir de 1912, ocasionando um crescimento considerável de suas vendas e de seus lucros, assim como a inversão do sentido das transações relativas às patentes. A partir desse momento, o laboratório industrial da GE reforçou sua posição dentro e fora

da Companhia, levando a bom termo outros projetos importantes — nos domínios dos raios X, da produção de válvulas e de outros componentes eletrônicos. Entre 1914 e 1918, ele prestou bons serviços ao esforço de guerra dos Estados Unidos.

Durante os anos vinte, o laboratório tornou-se uma divisão da empresa, e o seu diretor um dos vice-presidentes da GE. Suas atividades, além disso, começaram a ser amplamente divulgadas pela Companhia, para mostrar o interesse que ela tinha pelo progresso técnico e científico, assim como a boa qualidade dos seus produtos.

Nesta época, já se podia encontrar situações similares em várias outras grandes empresas industriais dos Estados Unidos. Longe de ter sido um caso isolado, o laboratório da General Electric apenas reforçou uma tendência geral no contexto da Segunda Revolução Industrial.

Esta, contrariamente à Primeira, realizou-se a partir e em torno da tecnologia, e, mais precisamente, de uma tecnologia com base científica. O progresso das ciências revolucionou as técnicas de produção, enquanto que a integração dos conhecimentos científicos aos processos produtivos trouxe vantagens competitivas decisivas, para as empresas que adotaram primeiro as novas tecnologias. As outras empresas foram obrigadas a segui-las e, se possível, tentar ultrapassá-las no mesmo terreno, o que, por sua vez, fez progredir de maneira importante a tecnologia industrial no sentido de uma crescente precisão das ferramentas e das máquinas, e de padrões sempre mais exigentes para as matérias-primas e outros bens de produção. Todos esses elementos acabaram por influenciar o desenvolvimento científico, que se tornou, hoje em dia, totalmente dependente do acesso aos instrumentos, aos materiais e aos conhecimentos técnicos mais avançados.